

VERWENDUNGSORIENTIERTE TECHNOLOGISCHE PRÜFUNG
UND
VERGLEICHENDE SORTIERUNG DES SCHNITTHOLZES EINER
SCHNELLWÜCHSIGEN BAUMART

dargestellt
am Beispiel der „Plantagen-Kiefer“ *Pinus radiata* (D. Don.)

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Forstwissenschaftlichen Fakultät
der Albert-Ludwigs-Universität
zu Freiburg im Breisgau

vorgelegt von
Amauri Simioni
aus
Curitiba/Brasilien

1981

VERWENDUNGSORIENTIERTE TECHNOLOGISCHE PRÜFUNG
UND
VERGLEICHENDE SORTIERUNG DES SCHNITTHOLZES EINER
SCHNELLWÜCHSIGEN BAUMART

dargestellt
am Beispiel der „Plantagen-Kiefer“ *Pinus radiata* (D. Don.)

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Forstwissenschaftlichen Fakultät
der Albert-Ludwigs-Universität
zu Freiburg im Breisgau

vorgelegt von
Amauri Simioni
aus
Curitiba/Brasilien

1981

" Gedruckt mit Unterstützung des Deutschen Akademischen
Austauschdienstes "



Dekan: Prof. Dr.-Ing.E. Nießlein

Leiter der Arbeit: Prof. Dr. R. Grammel

Referent: Prof. Dr. R. Grammel

Korreferent: Prof. Dr. A. Schreiber

Verkündigung des Prüfungsergebnisses: November 1981

Vorwort

Die vorliegende Arbeit wurde in der Zeit von Oktober 1978 bis Oktober 1981 am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg/Br. durchgeführt.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. R. Grammel, der mich mit dieser Aufgabe betraute und mir deren Verwirklichung durch stets ermutigende Anleitung und großzügige Hilfsbereitschaft trotz erheblicher, in der Natur der Untersuchung liegender Schwierigkeiten ermöglichte.

Ebenfalls möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. G. Becker für seine Mithilfe bei der Abfassung des Manuskriptes und Herrn Prof. Dr. A. Schreiber für die freundliche Übernahme des Korreferats bedanken.

Weiterhin darf ich mich bei den Herren Dr. H. Behler, Dipl.-Forstwirt G. Dieterle und Dipl.-Forstwirt O. Thees für ihre hilfreiche Unterstützung bei der Verwirklichung der Arbeit bedanken.

Besonders danken möchte ich Frau M. L. Burger und Herrn D. Burger für ihre große Hilfsbereitschaft, Teile dieser Arbeit zu übersetzen, was mir eine wesentliche Stütze war.

Ich möchte dem D.A.A.D. "Deutscher Akademischer Austauschdienst" für mein Stipendium und meiner Universität (Universidade Federal do Paraná - Brasilien) für die Beurlaubung von meiner Dienststelle, meinen Dank aussprechen.

Bei der Anfertigung der graphischen Darstellungen wurde ich von Herrn Ing. F. von Fürstenberg tatkräftig unterstützt; auch ihm gilt mein bester Dank.

Ich möchte auch allen Angehörigen des Instituts für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft, die in sachkundiger und verständnisvoller Weise bei der Untersuchung mitgewirkt haben, meinen aufrichtigen Dank sagen.

Und nicht zuletzt möchte ich meiner Frau Sueli für ihr Verständnis und ihre Unterstützung, die mir sehr viel bedeutet haben, in herzlichster Weise danken.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG	1
1.1 Einleitung	1
1.2 Problemstellung, methodisches Vorgehen	7
2. UNTERSUCHUNGSMATERIAL	15
2.1 Die Baumart Pinus radiata	15
2.1.1 Künstliche Anbaugebiete	17
2.2 Herkunft der Probestämme, Repräsentation	22
2.3 Erfassung der am Stammrundholz äußerlich erkennbaren Qualitätsmerkmale	26
2.3.1 Die Holzdimension	28
2.3.2 Die Abholzigkeit	29
2.3.3 Die Astigkeit des Holzes	30
2.3.4 Die Krümmung	35
2.3.5 Die Exzentrizität	38
2.3.6 Die Sortierung nach HKS	39
2.4 Aufbereitung des Untersuchungsmaterials	41
2.4.1 Einschnitt des Stammholzes	41
2.4.2 Die Schnittholztrocknung	44
3. PHYSIKALISCHE UND MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN DES PROBENMATERIALS	46
3.1 Ziel der Untersuchung	47
3.2 Physikalische Merkmale der Stammquerschnitte	48
3.2.1 Methodik	48
3.2.2 Ergebnis der Rohdichteuntersuchungen	49
3.2.3 Schwindmaße	54
3.2.4 Jahrringbreite	57
3.2.5 Jahrringbreite und Rohdichte	60

3.3 Festigkeitseigenschaften von fehlerfreien Holzproben	63
3.3.1 Methodik	63
3.3.2 Feststellungen zum Gesamtergebnis	65
3.3.3 Die physikalischen und mechanischen Holzeigenschaften von <i>Pinus radiata</i> im Vergleich zu europäischen Nadelbäumen	81
3.4 Biegefestigkeit und zulässige Spannung	86
4. SCHNITTHOLZQUALITÄT	93
4.1 Ziel der Untersuchung	93
4.2 Methodik	95
4.3 Feststellungen zum Gesamtergebnis	99
4.3.1 Ergebnisse der visuellen Schnittholzklassifizierung	99
4.3.2 Ergebnisse der Biegefestigkeitsprüfung	105
4.3.3 Vergleich zwischen den Güteklassen RPAA, DIN, SABS und NCH	117
4.3.4 Vergleich der Schnittholzsortierungen in bezug auf die zulässige Spannung	121
5. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSFOLGERUNGEN	127
5.1 Rundholzeigenschaften - Holzproben <i>Pinus radiata</i>	127
5.2 Physikalische und mechanische Eigenschaften der geprüften <i>Pinus radiata</i> -Hölzer	129
5.3 Vergleichende Schnittholzsortierung von <i>Pinus radiata</i>	132
5.4 Zulässige Spannung für <i>Pinus radiata</i> nach NOACK (1971)	136
6. LITERATURVERZEICHNIS	138
7. FIGURENVERZEICHNIS	144
8. TABELLENVERZEICHNIS	146

ANHANG: 1 Formular

1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

1.1 Einleitung

Sozialethische Beweggründe machen es, ebenso wie das wohlverstandene Eigeninteresse an einer auch zukünftig stabilen wirtschafts- und sozialpolitischen Entwicklung, erforderlich, daß sich die Vertreter der verschiedenen Institutionen und Wirtschaftsbranchen verstärkt mit der Frage nach einer effektiven Strategie zur Entwicklung aller Regionen der Erde und der pfleglichen Nutzung der dort vorhandenen Ressourcen befassen. Das Schlagwort des Nord-Süd-Dialogs gilt nicht nur auf politischer, sondern mehr noch auf wirtschaftlicher, technologischer und kultureller Ebene.

Es bedarf keiner Betonung, daß dem Wald und der Holznutzung, aber auch der Ernte forstlicher Nebenprodukte im Hinblick auf die nachhaltige Sicherung natürlicher Ressourcen eine besondere Bedeutung zukommt. Zunehmend macht sich auf diesem Feld Pessimismus breit. Die Waldfläche geht stark zurück; als Folge des shifting-cultivation (Wander-Brand-Hackbau) und einer exzessiven Brennholznutzung steigt die Fläche der sogenannten offenen Wälder, d. h. der sehr gering beschirmten Waldflächen stark an.

Mit der Frage der Zerstörung des Primärwaldes und der Problematik der sogenannten offenen Wälder haben sich insbesondere die FAO (1978), LANLY und CLEMENT (1979), STEINLIN (1979) und SPEIDEL (1981), aber auch GRAMMEL befaßt. Nach STEINLIN (1979) kann man davon ausgehen, daß derzeit 1,1 bis 1,5 Milliarden ha, das sind rund 30 bis 35 % der Waldfläche der Erde, nur sehr gering beschirmt sind. Dieser Anteil wird sich vergrößern bei gleichzeitiger weiterer Abnahme der Bestockung. Die FAO

geht in ihrer Prognose davon aus, daß das Brennholzdefizit in den unterentwickelten Ländern im Jahr 1994 650 Mio. m³ betragen wird. Als Folge der Transportkostenempfindlichkeit wird sich die Brennholz-Not vor allem um die Städte und größeren Dörfer ausbreiten.

Nach SPEIDEL (1981), aber auch nach der Studie GLOBAL 2000 (1977), die im Auftrag des amerikanischen Präsidenten gefertigt wurde, hat sich im Beispielsfall des Amazonas-Beckens die Waldfläche in den letzten 10 Jahren um 30 % verringert, in weiteren 30 Jahren könnte sich bei Fortschreiten des bisherigen Entwaldungstempos eine völlige Entwaldung dieses riesigen Gebietes vollzogen haben. GRAMMEL (1981) sieht deshalb trotz unbestreitbarer Risiken großflächiger Monokulturen die Chance in vielen Fällen nur in einer forcierten Wiederaufforstung potentieller Waldböden mit Holzplantagen. Er weist darauf hin, daß Beispiele aus dem letzten Jahrhundert z. B. in Mitteleuropa sehr wohl zeigen, daß auch eine vorübergehende Phase von nach eher landwirtschaftlichen Gesichtspunkten betriebener Forstwirtschaft, auf der Basis einer intensiven Forschung mit begrenztem Risiko, relativ sicher bewältigt werden kann. Fachleute wie z. B. RÜHRIG, E. (1979); WEISGERBER, H. (1979); RIEBELING, R. (1979) sind sich weitgehend einig, daß nur der Aufbau von Holzplantagen die Möglichkeit der Produktion großer Mengen an Rohholz in kurzer Zeit eröffnet, auch wenn diese Kunstwälder (meist Monokulturen) hohe Einsätze an Kapital erfordern und verbunden sind mit Düngung, Pestizid-Einsatz, kurzen Umtriebszeiten und all den Nachteilen einer quasi landwirtschaftlich ausgerichteten Produktion.

Für Brasilien, die Heimat des Verfassers, als eines der holz- und waldreichsten Länder der Erde gewinnt die Beschäftigung mit der Frage nach der vernünftigen, d. h. vergleichsweise besseren Nutzung der vorhandenen Rohholzreserven und forstlichen Standorte unter Berücksichtigung folgender Aspekte an besonderer Bedeutung:

- Das größte Waldpotential Brasiliens, das Amazonas-Becken, liegt in der Region Nord. Es ist auf 80 % der Fläche mit dichten Wäldern bestockt. Dieses größte tropische Waldgebiet der Erde besitzt als ökologische Einheit vergleichsweise großes Gewicht. Das riesige Gebiet ist mit einem außerordentlich artenreichen, ungleichaltrigen, noch im Gleichgewicht befindlichen Urwald bestockt und stellt für das Land einen einmaligen ökologischen und sozialen Reichtum dar (PELLICO, 1979). Die Kenntnisse über die vorhandenen Vorräte an Waldflächen und Holz als Produktionsmittel und ihre wirtschaftliche Nutzung sind heute immer noch ungenügend und verlangen nach einer intensiven und umfassenden Erforschung.
- Südbrasilien ist das natürliche Verbreitungsgebiet der einheimischen Nadelbaumart *Araucaria angustifolia*. Diese Baumart diente bisher zur Deckung des Nadelschnittholzbedarfs. In den Regionen Südost- und Südbrasilien wurde jedoch die Waldfläche durch intensive land- und viehwirtschaftliche Nutzung am stärksten vermindert. Die ehemals riesigen Holzvorräte gehen damit schnell zu Ende.
- Um der zusammen mit dem Anstieg von Bevölkerungszahl und Lebensstandard steigenden Nachfrage nach Holz einer expandierenden Holzindustrie entsprechen zu können, aber

auch um den katastrophalen ökologischen Schäden durch menschliche Eingriffe in den ursprünglichen Urwäldern entgegentreten zu können, wurden durch eine Regierungsinitiative im Jahre 1966 steuerliche Vergünstigungen für Aufforstungen geschaffen, die die Grundlage für eine kontinuierliche und nachhaltige Wiederaufforstung und damit Holzproduktion legen sollte.

- Als Ergebnis dieser Politik wurden innerhalb von 10 Jahren ca. 2,5 Millionen ha (IBDF, 1977) aufgeforstet, hiervon entfallen 53 % der Fläche auf Eukalyptus-Plantagen als Versorgungsbasis der Zellstoff- und Papierindustrien. Ein Drittel der Fläche wurde u. a. mit *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* und tropischen Kiefernarten wie *Pinus oocarpa*, *Pinus caribea*, *Pinus palustris* usw. bestockt. Diese Plantagen sollen die künftige Versorgungsquelle der Sektoren Spanplatten- und Zelluloseindustrie bilden, aber auch den steigenden Bedarf an Schnitthölzern vor allem für das Bauwesen abdecken (LADEIRA, 1977). Die ursprünglich (natürlich) stark vertretene *Araucaria angustifolia* ist nur mit 2,4 % an der Gesamtaufforstung beteiligt, unter anderem eine Folge der ökologischen Begrenzung ihres natürlichen Verbreitungsgebietes, aber auch der hohen Kosten des Pflanzmaterials im Vergleich zu den Kiefern und Eukalyptus-Arten (FUPEF, 1978).

Als Ergebnis dieser Aufforstungspolitik zeigt sich heute eine starke Konzentration der Plantagen in den Regionen des Südostens und Südens Brasiliens. Auf dieses Gebiet entfallen 53 % der Gesamtaufforstungsfläche des Landes.

- Soweit die Aufforstungen bei relativ geringen Qualitätsansprüchen zur Erzeugung von Massenprodukten dienen sollten, z. B. zur Herstellung von Holzschliff, Zellstoff, Span- und Faserplatten, erscheint die bislang angewandte waldbaulich-ertragskundliche Produktionsmethode, nämlich Begründung, Pflege und Ernte der Bestände in Form einer extensiven, kurzfristigen Plantagenwirtschaft unbedenklich. Neu ist aber, daß als Folge der raschen wirtschaftlichen Entwicklung in Verbindung mit einer sprunghaften Bevölkerungsvermehrung (FAO/ECE, 1976) nicht nur der Gesamt-Holzbedarf Brasiliens überproportional wächst, sondern daß sich gleichzeitig die Struktur der Nachfrage entscheidend ändert: Während es keine wesentlichen Schwierigkeiten bereitet, den Holzrohstoff für die Zellstoff-, Papier- und Plattenindustrie in ausreichender Menge bereitzustellen, steht und vergrößert sich dauernd der Engpaß bei der für Bauzwecke geeigneten Schnittware. Bedarf und Nachfrage sind größer als die Produktion. Alle Prognosen gehen davon aus, daß sich der Spalt zwischen Produktionsmöglichkeiten und Verbrauch weiter öffnen wird. Ganz besonders betrifft dies den Markt bei den Konstruktionshölzern.

Da zum einen die Nachhaltigkeit der Naturwälder zur Deckung dieses großen Bedarfs nicht ausreichen wird (der Naturwald wird immer stärker nicht nur als wirtschaftliche Versorgungsquelle des Industriekomplexes Holz, sondern auch im Hinblick auf die soziale und politische Stabilität des Landes betrachtet und bewertet), zum anderen zu hohe bzw. zu geringe Qualitäten der im Naturwald geernteten Holzsortimente eine Verwendung im Bauwesen für konstruktive Zwecke in vielen Fällen unwirtschaftlich

erscheinen lassen bzw. verbieten dürfte, gilt es zu prüfen, ob auch die in Nadelholz-Plantagen erzeugten Hölzer bzw. die bei ihrem Einschnitt erzeugten Sortimente in diesem Marktsegment eingesetzt werden könnten.

Auf der Basis dieser generellen Zielvorstellung soll mit Hilfe der vorliegenden experimentellen Untersuchung nur ein Beitrag zur Anwendungsmöglichkeit des Holzes aus Plantagenbetrieben im Bauwesen geleistet werden. Möglicherweise lassen sich aus diesen Ergebnissen weiterhin erste Hinweise auf eine angepaßte waldbauliche Behandlung ableiten im Hinblick auf das Ziel, beim Anbau raschwüchsiger Baumarten in Form von Plantagen nicht nur die Bedingungen einer reinen Massenproduktion, sondern auch qualitative Gesichtspunkte zu berücksichtigen.

1.2 Problemstellung, methodisches Vorgehen

Plantagenbetriebe können dadurch charakterisiert werden, daß sie einen hohen Zuwachs sowohl der Einzelindividuen wie auch auf der Gesamtfläche aufweisen und daß ihre Umtriebszeit im Vergleich zum klassischen mitteleuropäischen Waldbau mit 5 bis 40 Jahren relativ kurz ist. Kennzeichnend ist eine dem Ackerbau nicht unähnliche Bewirtschaftungsweise mit angestrebtem gleichen Erntezeitpunkt aller Individuen, einer Minimierung der vorausgehenden Erziehungs- und Pflegeeingriffe, hohem Einsatz an Energie, Dünger und Pestiziden und der rationellen Begründung auf ungepflügten bzw. mit anderen Maschinen vorbereiteten und damit homogenisierten Böden.

Die bei der Nutzung anfallenden Rundholzsortimente unterscheiden sich vom Holzanfall im konventionellen Betrieb je nach Nutzungszeitpunkt in bezug auf:

- die Holzdimensionen, d. h. Länge und Durchmesser, aber auch die Schaftformen,
- die Holzqualität, wie Astigkeit, Jahrringbreite, Abholzigkeit, Faserverlauf, Holzdichte usw.

Obwohl plantagenartig begründet und erzogen, weisen die Rundhölzer aus den einzelnen Durchforstungseingriffen und der Endnutzung bezüglich dieser Merkmale ein weites Spektrum auf. Naturgemäß gilt dies auch für die aus dem Rohholz hergestellten Produkte, insbesondere für das Schnittholz und wirkt sich dort entsprechend in differenzierten Qualitätsmerkmalen aus.

Zur Charakterisierung und Bewertung von Nadelschnittholz, vor allem in bezug auf dessen Einsatz im Bauwesen, finden sich im europäischen Raum eine große Anzahl verwendungsbezogener Sortierungsgebräuche, Normen und Berechnungsmodelle, die teils auf objektiv meßbaren Merkmalen, teils auf weniger präzisen Angaben verbaler Art, die allenfalls eine Reihung erlauben und der subjektiven Einschätzung unterliegen. Wenn auch die einzelnen Vorschriften wegen zu vager Formulierungen oder wegen des mit der Quantifizierung und Objektivierung verbundenen hohen Aufwandes bislang noch nicht voll befriedigen können, so dürften sie doch zum größten Teil in ihrem bisherigen Anwendungsbe-
reich als praktikabel angesehen werden. So erfolgt z. B. die Beurteilung des Holzes bezüglich der Festigkeit in den meisten europäischen Ländern anhand einer visuellen Gütesortierung, in der Bundesrepublik Deutschland festgelegt in der DIN-Norm 4074¹⁾. Den in dieser Norm unterschiedenen Güteklassen werden in der DIN-Norm 1052 die zulässige Spannung für die verschiedenen Beanspruchungsarten Druck, Zug, Biegung, Scherung und Schub zugeordnet.

Zur Klärung der grundsätzlichen Frage der Eignung von Holz im Bauwesen oder für sonstige tragende Holzkonstruktionen muß man mehrere wichtige Gesichtspunkte berücksichtigen und überprüfen. Eine zwingende Voraussetzung ist z. B. die notwendige Sicherheit von Bauteilen. Aus dieser Anforderung resultieren die zulässigen maximalen Spannungen unter Berücksichtigung des Verformungsverhaltens und der zulässigen Formveränderungen der Bauteile, d. h. es müssen alle Faktoren in die Entscheidung einbezogen werden,

¹⁾ DIN-Norm = Deutsche Industrie-Norm

die die Tragsicherheit und Formbeständigkeit bei Dauerbelastung beeinflussen. Im Hinblick auf Bauentwurf und statische Berechnung müssen diese wirklichkeitsnah erfaßt werden (NOACK, 1971).

Objektive Grundlagen in bezug auf Standsicherheit und Nachweise über Formstabilität bzw. Formveränderungen bilden daher eine wichtige Voraussetzung für eine wirtschaftliche Verwendung von Holz im konstruktiven Bauwesen. Seine Eignung und vor allem seine Konkurrenzfähigkeit wird hierbei in entscheidendem Maße von der zulässigen Spannung bestimmt (NOACK, 1971).

Unter Spannung (σ) versteht man hier die innere Kraft, die in der Querschnittseinheit vorhanden ist, von der Festigkeit des Baustoffes abhängt und den Körper im Gleichgewicht hält.

$$\sigma = \frac{P}{F} = \frac{\text{Kraft (N)}}{\text{Fläche (mm}^2\text{)}} = (\text{N/mm}^2)$$

P = äußere Kraft; F = Querschnittsfläche

Es handelt sich um einen Begriff der Statik, und ist gleichbedeutend mit der auf eine Flächeneinheit (F) ausgeübten Kraft (P). Nach der Art der Beanspruchung unterscheidet man Druck-, Zug-, Biege-, Scher- und Torsionsspannung.

Hierbei ist allen Formeln, die in der Festigkeitslehre benutzt werden, das HOOKE'sche Gesetz von der Proportionalität der Dehnung und Spannung zugrundegelegt. Man muß bei der praktischen Lösung von Aufgaben dafür sorgen, daß die wirkliche Spannung " σ_w " den Wert der Proportionalitätsgrenze " σ_p " nicht überschreitet. Bezeichnet man also diejenige Spannung, die einem gegebenen Baustoff praktisch zugemutet werden darf als "zulässige

Spannung", so erhält man z. B. bei Zugbeanspruchung die Bedingung

$$\sigma_{w_z} < \sigma_{p_z}$$

Hinsichtlich des Standsicherheitsnachweises von Baukonstruktionen gilt die allgemeine Regel, daß jedes Bauteil so bemessen sein muß, daß es seine vorgesehene Aufgabe mit Sicherheit erfüllt. Diese Sicherheit wird im Hinblick auf das Eintreten eines Bruches durch den sogenannten Sicherheitsfaktor v definiert, der das Verhältnis zwischen Bruchfestigkeit σ_B und der zulässigen Spannung σ_{zul} darstellt:

$$v = \frac{\sigma_B}{\sigma_{zul}}$$

Man geht davon aus, daß, je größer die Unsicherheit über die Festigkeit eines Bauteiles ist, der Sicherheitsfaktor desto höher gewählt werden muß. Umgekehrt gilt aber auch in vielen Fällen, daß bei hoher unterstellter Sicherheit und relativ geringen Elastizitätsmodulen¹⁾ Hölzer aus wirtschaftlichen Gründen für die Verwendung im Bauwesen ausfallen (NOACK, 1971).

Die Problematik der Festlegung des Sicherheitsfaktors und damit der Eignung verschiedener Holzarten für Bauzwecke liegt insbesondere darin, daß in der DIN-Norm 1052 die zulässigen Spannungen nur für europäische Nadelhölzer, d. h. Kiefer, Fichte, Tanne und Lärche, sowie für Eiche und Buche angegeben sind. Um

¹⁾ Anmerkung: E-Modul = Maß für die Widerstandsfähigkeit eines Holzes gegen Formveränderung bei Belastung

einer generellen Lösung nahezukommen, wurden von NOACK (1971) grundsätzliche Überlegungen zur Festlegung der zulässigen Spannungen bei Bauholz erarbeitet und veröffentlicht.

NOACK (1971) ermittelt Spannungswerte zunächst anhand der Prüfung kleiner fehlerfreier Holzproben. In einem 2. Schritt wird diese Prüfung durch eine Beurteilung des Holzes nach einer visuellen Gütesortierung nach DIN 4074 ergänzt. Die Maximalwerte der Proben werden also anhand einer detaillierten Erfassung der einzelnen Holzfehler und hier insbesondere der Astzahl und Astdimension, aber auch anderer, die mögliche Spannung mindernder Eigenschaften am Bauteil korrigiert.

Offen ist jedoch in diesem Zusammenhang, ob die verschiedenen Vorschriften und Verfahren zur visuellen Sortierung des Schnittholzes und damit zur Festlegung der zulässigen Spannung für die einzelnen Verwendungsarten, auch zur Beurteilung des Schnittholzes schnellwüchsiger Baumarten, wie z. B. der Kiefernarten *Pinus elliotii*, *Pinus radiata* etc., herangezogen werden können.

Damit sind im Rahmen dieser Arbeit folgende Fragestellungen zu beantworten:

- Wie sind die wichtigsten vorhandenen und relevanten Sortierungsvorschriften (wie z. B. die DIN 4074, sowie entsprechende australische, südafrikanische und chilenische Normen)¹⁾ charakterisiert, in welchen

¹⁾ Länder, in denen bisher die fraglichen *Pinus*-Arten schwerpunktmäßig angebaut und verwendet werden

Punkten können sie miteinander verglichen werden und wie eignen sie sich insbesondere in bezug auf ihre Anwendung für schnellwüchsige Plantagenhölzer?

- Können von diesen visuellen Sortiervorschriften bzw. -regeln Rückschlüsse auf die tatsächlich zulässige Spannung bei Verwendung von Plantagenhölzern im Bauwesen gezogen werden?
- Eignet sich das von NOACK (1971) zur Bestimmung der zulässigen Spannung vorgeschlagene Verfahren bei den hier angesprochenen Holzarten?
- Welche tatsächlichen Qualitätsmerkmale weist Schnittholz einer schnellwüchsigen Baumart, erzogen im Plantagenbetrieb, gemessen an den genannten Sortierungsvorschriften und in bezug auf seine Verwendung für konstruktive Zwecke auf?

Als charakteristische Baumart wurde in der vorliegenden Arbeit beispielhaft *Pinus radiata* (D. Don.) ausgewählt. Hierfür spricht, wie oben angeführt, einmal daß diese als Plantagenbaumart nicht nur in Südamerika, sondern weltweit eine große Verbreitung gefunden hat. Zum anderen bestand für diese Holzart die versuchstechnisch günstige Gelegenheit, aus einer großen Holzmenge eine repräsentative Auswahl treffen und diese untersuchen zu können.

Zur Klärung der angeschnittenen Fragen soll wie folgt methodisch vorgegangen werden:

1. Gegenüberstellung und methodischer Vergleich der wesentlichen vorhandenen Sortiervorschriften bezüglich der Verwendung von Nadelschnittholz im Bauwesen: DIN-Norm 4074, australische, südafrikanische und chilenische Norm.¹⁾ Bei diesen Sortierregeln kann von einer langjährigen Praxis und von entsprechenden Erfahrungs- bzw. in Untersuchungen ermittelten Vergleichswerten ausgegangen werden.
2. Qualitätsansprache von Rundholz an repräsentativ ausgewählten Stämmen der Beispielsbaumart *Pinus radiata* nach äußerlich sichtbaren Merkmalen.
3. Visuelle Sortierung des aus diesem Rundholz erzeugten Schnittholzes auf der Basis der genannten Sortiervorschriften.
4. Festigkeitsprüfung an fehlerfreien Holzproben aus unterschiedlichen Stammbereichen (genormte Materialprüfung).

¹⁾ DIN 4074 - Deutsche Industrie Norm; Ausgabe 1969

"RPAA - Grading rules for radiata pine timber".
"Radiata Pine Association of Australia; 1974".

"SABS 1245-1978 - South african bureau of Standards".
"Standard specification for stress-graded softwood engineering timber".

"NCH 1207 - Norma para clasificación por resistencia de madeira aserrada de pino insigne". "Decreto Nr. 224, de 7/7/1978 del ministerio de Agricultura".

5. Festigkeitsprüfung von Schnittholzsortimenten in Gebrauchsdimensionen.
6. Systematischer Vergleich der gemessenen Spannungs- bzw. Biegefestigkeitswerte mit den Ergebnissen der visuellen Ansprache der Holzqualität bzw. der Holzfehler an Rund- und Schnittholz nach den Normen der alternativen Sortier-
vorschriften.

2. UNTERSUCHUNGSMATERIAL

2.1 Die Baumart Pinus radiata

Die Baumart *Pinus radiata* (D. Don.) gehört systematisch zur Familie der Pinaceae und innerhalb dieser zur Gattung *Pinus*. Sie ist auch unter der Bezeichnung Monterey Pine (U.S.A.), Pino Insigne (Chile), Insignes oder Radiata pine (Neuseeland und Australien) im Handel bekannt.

Botanisch gehört *Pinus radiata* der Sektion 11 "taeda" an (PILGER, SCHMALTZ, 1976). Diese Einordnung besagt, daß *Pinus radiata* meist dreinadelig ist und die Harzgänge im Parenchym eingebettet sind. Ebenfalls zur Sektion 11 gehörend und somit eng verwandt mit *Pinus radiata* sind unter anderen *Pinus taeda* und *Pinus patula* (BAUCH, 1975).

Das natürliche Verbreitungsgebiet der *Pinus radiata* beschränkt sich auf eine Fläche von 6 Meilen Breite und 50 bis 175 Meilen Länge südlich von San Francisco in den Vereinigten Staaten (SCOTT, 1960; Fig. 1). Aufgrund der beschränkten natürlichen Verbreitungsgebiete besitzt sie in USA nur eine geringe kommerzielle Bedeutung (RPAA GRADING RULES, 1974). Das rasche Wachstum, ihre unproblematische Anzucht, aber auch die guten technischen Eigenschaften und ihre relative Resistenz gegen Insekten- und Pilzbefall führten zu einer weiten, fast weltweiten Verbreitung in Gebieten, die hinsichtlich ihres Klimas dem natürlichen Verbreitungsgebiet ähneln (SCHMALTZ, 1976):

Es handelt sich um einen mediterranen Klimatyp mit relativ trockenen Sommern, milden Wintern ohne Schneefall und seltenen Frösten. Die durchschnittliche Temperatur variiert zwischen 10° C und 40° C, die Niederschläge schwanken zwischen 375 und 875 mm, von denen ca. 75 % im Winter fallen (SCOTT, 1960).

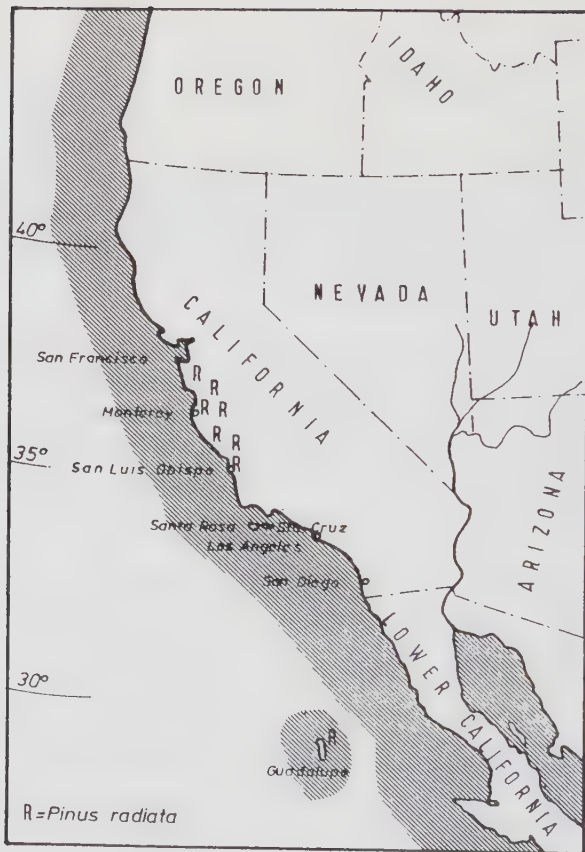


Fig. 1: Das natürliche Verbreitungsgebiet von *Pinus radiata* in Kalifornien (USA), nach SCOTT, 1960.

An den Boden stellt *Pinus radiata* keine besonders großen Ansprüche, jedoch sind Tiefgründigkeit und gute Wasserdurchlässigkeit wachstumsfördernd (SCHMALTZ, 1976).

Die Bäume werden im Durchschnitt 20 bis 35 m hoch und erreichen auf guten Standorten Brusthöhendurchmesser von mehr als 100 cm (SCOTT, 1960).

Pinus radiata ist eine Baumart, die als vergleichsweise kurzlebig beschrieben wird. In natürlichen Verbreitungsgebieten erreicht sie im Durchschnitt 80 bis 90 Jahre, selten mehr als 150 Jahre, in ungünstigen Gebieten nur 20 bis 30 Jahre.

2.1.1 Künstliche Anbaugebiete

Während *Pinus radiata* in ihrem Ursprungsgebiet forstlich und holzwirtschaftlich praktisch unbedeutend blieb, erlangte sie vor allem in Regionen, die im Bereich des 37. bis 38. nördlichen bzw. südlichen Breitengrades liegen, als Plantagenbaumart große Bedeutung. Ab etwa 1880 wurden in Südafrika, Australien, Neuseeland und Chile die ersten Erfahrungen mit dieser Gastbaumart gemacht, aber erst ab 1925 begannen die ersten Großaufforstungen (SCOTT, 1960).

Das rasche Wachstum, unproblematische Anzuchtmöglichkeiten, gute Holzqualität und daraus resultierende vielseitige Verwendbarkeit und nicht zuletzt der Umstand, daß *Pinus radiata* in kürzeren Umtriebszeiten bewirtschaftet werden kann, sind die Hauptgründe für die weite Verbreitung als Exotenbaumart (SCHLATTER, 1974). Dies ermöglicht eine höhere betriebswirtschaftliche Rendite bei Aufforstungen und weiter einen ver-

gleichsweise schnell wirksamen Beitrag zur Schließung der immer fühlbarer werdenden, weltweiten Holzversorgungslücken. Dem Aspekt des im Vergleich zum mitteleuropäischen Waldbau raschen Kapitalrückflusses aus der Investition kommt ebenfalls besondere wirtschaftliche Bedeutung zu.

Tab. 1: Umfang der wichtigsten Anbauten von *Pinus radiata* außerhalb des natürlichen Wuchsgebietes (SCHLATTER, 1974)

Anbauggebiet	Jahr	Anbaufläche ha
Neuseeland	1970	ca. 320 000
Australien	1968	ca. 210 000
Chile	1978	419 000 ¹⁾
Spanien	1967	ca. 175 000
Südafrika	1976	ca. 35 000 ²⁾

¹⁾ nach EISENHAUER (1978)

²⁾ nach LAAR (1976)

In Chile ist das Anbauggebiet von *Pinus radiata* auf die Zentralzone beschränkt (Fig. 2). Im Norden liegt ein großes Trockengebiet mit Wüsten; etwas nördlich der Hauptstadt Santiago beginnen die Hartlaub- und Trockengehölzformationen der Zentralzone

bis ungefähr zur Stadt Puerto Montt; daran grenzt der regenreiche und kühle Süden, die sogenannte "Frontera" (EISENHAUER, 1981).

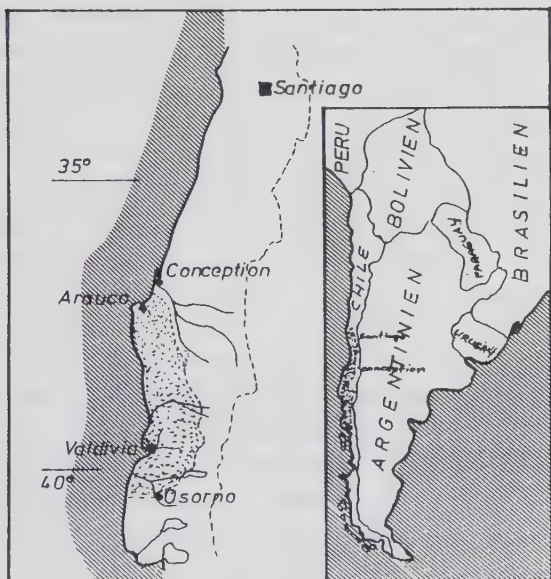


Fig. 2: Geographische Lage der *Pinus radiata*-Anbauten in Chile (nach SCHMALTZ, 1976).

Das Ertragsniveau bessert sich von Norden nach Süden mit zunehmenden Niederschlägen. Diese Tendenz wird verstärkt durch die im Durchschnitt besseren edaphischen Voraussetzungen im Süden der Zentralzone.

Ähnlich günstige Wachstumsbedingungen für *Pinus radiata* finden sich in der Provinz Arauco (SCHMALTZ, 1976). Die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Holzproben stammen aus diesem Wachstumsgebiet. Das Klima dieser Provinz entspricht dem der warmgemäßigten Regenwaldzone mit Niederschlägen um 2000 mm pro Jahr. Die jährlichen Temperaturschwankungen sind gering, zwischen etwa 8° C und 17° C, mit einer jährlichen Durchschnittstemperatur von ca. 12° C. Schwache Fröste kommen vereinzelt vor, dagegen sind Bodenfröste häufiger (HUBER, 1975).

Die Böden entwickelten sich überwiegend aus vulkanischen Aschen und erweisen sich für eine forstliche Nutzung als sehr gut geeignet. Sie sind humusreich, gut durchlüftet und besitzen eine hohe Wasserkapazität.

Der Pflanzverband für *Pinus radiata* beträgt in Chile üblicherweise 2 x 2 m, entspricht also einem Ausgangsbestand von 2500 Pflanzen pro ha. Vereinzelt wurde auch enger gepflanzt, etwa im 1 x 1 oder 1,50 x 1,50 m-Verband, jedoch haben sich derart enge Verbände nicht bewährt (SCHMALZ, 1976). Im Alter von 4 bis 7 Jahren schließen sich die Kulturen bereits zu Dickungen, was auch deutlich am Probenmaterial erkennbar ist - die Jahrringe werden im Alter von 6 bis 7 Jahren sichtbar schmaler - (vgl. nachfolgende Einzelanalysen). Mit 5 bis 8 Jahren kulminiert das Höhenwachstum.

Die Erstdurchforstung wird, wenn überhaupt, selten vor dem Alter von 12 Jahren durchgeführt. Die verbleibende Stammzahl schwankt zwischen 800 und 900 Bäume/ha. Die Bäume stehen damit offensichtlich sehr lange unter Konkurrenzdruck; dies kann ebenfalls an den unterschiedlichen Jahrringbau des Probenmaterials beobachtet werden.

Die Zweitdurchforstung erfolgt üblicherweise im Alter 18. Nach diesem zweiten Eingriff bleiben noch bis zu 500 Bäume je ha zurück. Bis zum Alter von 25 bis 28 Jahren, dem üblichen Ende der Umtriebszeit auf den besseren Standorten, wird derzeit nicht mehr durchforstet. Die u. a. auch aus der vorliegenden Arbeit gewonnene Erfahrung muß allerdings zeigen, ob nicht doch eine dritte Durchforstung nötig werden wird, wenn höhere qualitative Anforderungen an das Rundholz gestellt werden.

Nach BRÖKER (1980) erreicht der Massenzuwachs der *Pinus radiata* auf den besten Standorten bis zu 45 m^3 pro Jahr und Hektar, auf mittleren Standorten 10 bis 22 m^3 pro Jahr und Hektar.

SCHMALTZ (1976) nennt nach Untersuchungen in der Provinz Valdivia einen durchschnittlichen jährlichen Zuwachs von 35 m^3 , EISENHAUER (1981) 30 für gute, 20 bis 25 für mittlere und um 12 m^3 pro Jahr und Hektar für ärmere Standorte. Für die Erzeugung von Sägeholz sollten nach BRÖKER (1980) die Umtriebszeiten mindestens 30 Jahre betragen, z. Zt. gelangt aber häufig auch jüngeres Holz zum Einschnitt.

2.2 Herkunft der Probestämme, Repräsentation

Als Ausgangsmaterial für die Untersuchung standen im Jahr 1978/79 sowohl in Deutschland als auch in verschiedenen anderen Häfen Europas, insbesondere in Italien, Importe von *Pinus radiata* aus Chile zur Verfügung. Die Rundhölzer stammten aus der Provinz Arauco, die in Mittelchile liegt (vgl. Fig. 2). die Standortdaten wurden unter Ziffer 2.1 kurz beschrieben.

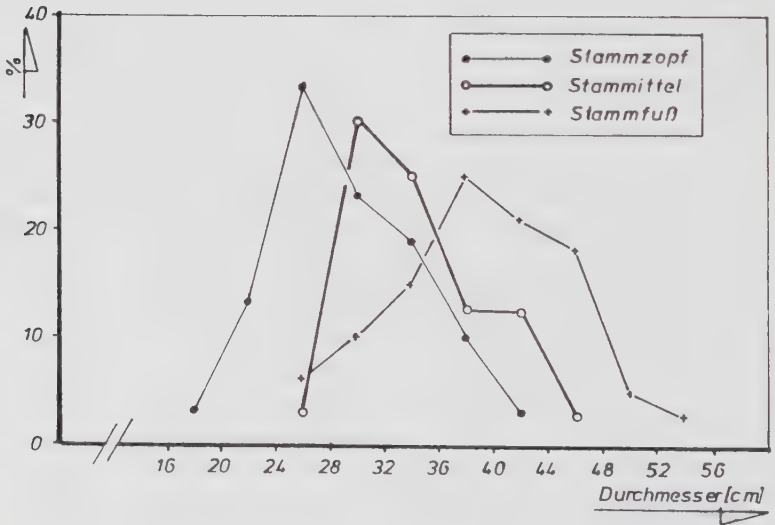


Fig. 3: Relative Häufigkeitsverteilung der Stammdurchmesser (Zopf, Mitte und Fuß) ohne Rinde für das untersuchte Rundholzkollektiv ($n = 26$)

Die schiffsladungsweise angebotenen Rundhölzer wiesen verschiedene Längen auf; ca. 60 % waren 12 und mehr Meter lang, ca. 40 % bewegten sich zwischen 4 m und 10 m Länge. Die Durchmesser-
serverteilung (ohne Rinde) des untersuchten Holzes ist Tab. 2 zu entnehmen. Die Auswahl erfolgte im Hinblick auf die Möglichkeit, daraus eine breite Palette an Schnittholzsortimenten und -dimensionen erzeugen zu können. Das durchschnittliche Alter lag bei 25 Jahren mit einer Abweichung von ± 3 Jahren.

Tab. 2: Mittelwerte (x), Standardabweichungen (sx) und Variationskoeffizient (CV) der Stammdurchmesser am Fuß, Mitte und Zopf, in "cm", o. Rinde für das untersuchte Rundholzkollektiv von *Pinus radiata* (n = 26)

Durchmesser (cm)			
	Stammfuß	Stammmitte	Stammzopf
x	39,40	31,90	28,50
sx	8,20	5,50	5,60
C.V	20,80	17,30	19,70
Größter Wert	56,50	47,00	45,20
Kleinster Wert	25,60	24,00	19,50

Um den notwendigen Stichprobenumfang für die Probenahme zu bestimmen, waren die folgenden Ziele und Begrenzungen zu beachten:

Ziele:

1. Ausreichende Holzmenge für einen Vergleich zwischen Güteklassen und Normen;
 - a) Verteilung des Schnittholzes in alle Güteklassen der verwendeten Sortierungsnormen
 - b) ausreichende Schnittholzmenge in jeder Güteklasse, um eine aussagefähige statistische Auswertung zu ermöglichen.
2. Ausreichende Holzmenge für eine zuverlässige Festigkeitsbestimmung.

Versuchstechnische Begrenzungen:

1. Mit wachsendem Stichprobenumfang sehr zeitraubende Gebrauchholzprüfung.
2. Hoher Kostenaufwand bei
 - a) Beschaffung der Rundholzmenge
 - b) Festigkeitsprüfungen.

Bei der Prüfung von Holzfestigkeiten ist es im allgemeinen üblich und ausreichend einen Repräsentationsfehler von $\pm 5 \%$ als Überschreitungswahrscheinlichkeit bei einer Wahrscheinlichkeit des Eintreffens von 95 % zu wählen (NOACK, 1971; LAVERS, 1974). Nach amerikanischen und australischen Untersuchungen beträgt im allgemeinen der Variationskoeffizient des Festigkeitswertes $CV = 16 \%$ (NOACK, 1971), was für die Biegefestigkeit einer größeren Zahl von Holzarten ein guter Schätzwert sein dürfte.

Mit den o. g. Zielen und Begrenzungen und dem Wert von CV = 16 % wurde nach der Normalverteilung von PRODAN (1971) ein allgemeiner Stichprobenumfang kalkuliert, der eine befriedigende statistische Auswertung versprach, d. h. es wurde eine Sicherheit von 95 %, bei ± 5 % als Überschreitungswahrscheinlichkeit und ein 16 %-Variationskoeffizient der Festigkeitswerte unterstellt. In diesem Rahmen ergibt sich nach der Formel

$$n = \frac{t^2 (CV)^2}{R^2}$$

t = Überschreitungswahrscheinlichkeit ± 5 %, d. h. t = 1,64

CV = Variationskoeffizient

R = Repräsentationsfehler

eine Anzahl von 30 Proben, die aus dem Gesamtkollektiv zufällig ausgewählt werden sollten. Die Bedingung konnte nicht voll erfüllt werden; aufgrund von Transportschwierigkeiten konnten 26 Stämme mit einer Gesamtmasse von rd. 30 m³ Rundholz zu Versuchszwecken beschafft werden. Für die Frage der Rundholzsortierung kommt daher den ermittelten Werten nur eine bedingte Aussagekraft zu. Für die zentrale Frage der Schnittholzbeurteilung ergeben sich jedoch, wie weiter unten gezeigt wird, weit geringere Anforderungen an den Umfang des Versuchskollektivs und damit weitergehende Aussagemöglichkeiten in bezug auf die Fragestellung dieser Arbeit.

2.3 Erfassung der am Stammrundholz äußerlich erkennbaren Qualitätsmerkmale

Die jeweiligen Ansprüche an die technische und optische Qualität des Holzes unterliegen vielen Faktoren, wie z. B. dem Verhältnis zwischen Angebot und Nachfrage und dem technischen Stand der Be- und Verarbeitung, aber auch der jeweilige Geschmack ist von Bedeutung. Die Anforderungen an das Rundholz beziehen sich vor allem auf seine optimale Zerlegbarkeit (Einteilbarkeit) mit dem Ziel, aus einer bestimmten Menge Rundholz einen möglichst hohen Anteil der angestrebten Produkte zu erzeugen.

Nach KNIGGE und SCHULTZ (1966) bestimmen neben der Auswahl einer geeigneten Holzart folgende Gütemerkmale die Eignung von Rundholz für bestimmte Be- und Verarbeitungszwecke:

Durchmesser
Länge
Struktur und Farbe
Fehlerhaftigkeit

Besonders stark wirkt sich der Durchmesser des Rundholzes als wichtigster Faktor auf die Entscheidung aus, in welcher Weise und mit welchem wirtschaftlichen Erfolg be- und verarbeitet wird. Er bestimmt das Ausnutzungsprozent und die Produktionskosten; schwache Durchmesser schließen bestimmte Verwendungsmöglichkeiten aus.

Die Länge wirkt sich ähnlich wie der Durchmesser wertbestimmend aus. Bei vielen Holzbe- und -verarbeitungen ergeben sich weitere Einschränkungen durch Abholzigkeit sowie Krümmungen.

Auch Strukturfehler und Farbe bestimmen die Be- und Verarbeitungsprozesse mehr oder weniger ausgeprägt: Mit zunehmender Fehlerhaftigkeit des Rundholzes, d. h. Astigkeit, Abholzigkeit, Krümmung und Exzentrizität usw. nimmt das Ausnutzungsprozent und damit auch die Wirtschaftlichkeit der Bearbeitung ab. Die Merkmale der Rundholzqualität sollen in der vorliegenden Arbeit deshalb möglichst exakt erfaßt werden.

Hierzu bietet sich eine von LÖFFLER (1968) entwickelte Systematik der Rundholzfehler an, die Fehler in der Stammform, der Holzstruktur und durch Umwelteinflüsse entstandene Fehler unterscheidet. Bei einer ersten Betrachtung des entrindeten Holzes konnte festgestellt werden, daß es keinerlei Schäden durch Umwelteinflüsse, wie Risse und Bläue, aber auch der Holzstruktur wie Drehwuchs, Zwiesel und Spannrückigkeit aufwies. Damit verbleiben für das Rundholz folgende Bewertungskriterien: die Dimension, die Abholzigkeit, die Astigkeit, die Krümmung und die Exzentrizität.

Ihre quantitative Erfassung erfolgte in Anlehnung an DIN 4074. Die Aufnahme der einzelnen Kriterien erfolgte dabei in zwei Schritten durch eine Mantelflächen- sowie eine Stammscheibenanalyse.

Vor Aufnahme der einzelnen Fehler an der Stammoberfläche wurde zu ihrer Lokalisation zunächst ein Bezugssystem notwendig: An Stammfuß und Zopf wurde dazu je ein Fadenkreuz angebracht. Die Eckpunkte wurden an den Stammquerschnitten markiert, und in Längsrichtung durch Schnüre miteinander verbunden. Oben wurde ein Maßband angelegt. Durch diese Maßnahme ließ sich die Stammoberfläche in Felder einteilen, in die die einzelnen Fehler oberseits und nach Drehen des Stamms um 180° auch unterseits

eingeordnet werden konnten. (Bezüglich der Länge erfolgte eine Aufteilung in 25 cm-Abschnitte.) Diesem Bezugssystem entsprechend wurde ein Aufnahmebogen gestaltet, die Lage des Fehlers eingezeichnet, durch Symbole charakterisiert und die jeweilig zugehörigen Meßdaten notiert. Dieser graphischen Form der Aufnahme wurde der Vorzug gegeben, weil so der jeweilige Fehler bezüglich seiner Lage nicht einzeln vermessen werden mußte, sondern eine Zuordnung zum jeweiligen Feld ausreichte.

Dieses Verfahren bietet alternativ die Möglichkeit, durch Angabe von Feldnummer und Quadrant sowie des Abstands des Fehlers von der Mittellinie den Lagemittelpunkt des jeweiligen Fehlers auch zahlenmäßig exakt zu bestimmen und damit eine numerische Auswertung zu ermöglichen.

2.3.1 Die Holzdimensionen

Die Durchmesser werden durch zweimalige Messung in Millimetergenauigkeit über Kreuz am Stammzopf, in der Stammitte und am Stammfuß ohne Rinde erfaßt (vgl. KÖNIG, 1970).

Die Mittelwerte, Varianzen, Variationskoeffizienten sowohl der größten und kleinsten Werte der Stammdurchmesser sind in Tab. 2 aufgeführt. Um die Unterschiede zwischen der Variation des Durchmessers von Zopf, Mitte und Stamm zu kennzeichnen, wurde die Häufigkeitsverteilung der Durchmesser in der Fig. 3 graphisch dargestellt.

Der Durchmesser läßt sich einfach und mit ausreichender Genauigkeit ermitteln und wird seit langer Zeit als wichtiges Sortierungs- und Wertkriterium benutzt. Der Durchmesser des Stammfusses erreicht den Mittelwert von 39,40 cm, der Stammitte und des Stammzopfes den Mittelwert 31,90 cm bzw. 28,50 cm. Der Variationskoeffizient liegt für alle drei Merkmale bei ca. 20 %.

Da der Durchmesser ohne Kennzeichnung der Durchmesserabnahme nicht ausreicht, wurde zusätzlich die sogenannte Abholzigkeit ermittelt (siehe Abschnitt 2.3.2).

Die Längen der Stämme wurden in cm-Genauigkeit mit dem Maßband erfaßt, sie lagen zwischen 12,0 und 12,15 m.

2.3.2 Die Abholzigkeit

Neben Länge und Durchmesser ist die Abholzigkeit für die Praxis insofern von Bedeutung, als diese den Rohholzwert über die Mengenausbeute an Hauptprodukten maßgeblich beeinflusst (LÖFFLER, 1968).

Die Abholzigkeit wurde durch zweimalige Messung der Durchmesser übers Kreuz in 1m-Sektionen über die Stammlänge hinweg hergeleitet.

Ein gebräuchliches Maß für die Abholzigkeit ist die durchschnittliche Durchmesserabnahme in cm pro lfd. Meter eines Stammes oder Stammteils. Um diese Kennziffer zu verdeutlichen, wurde die Abholzigkeit für die ganzen Stämme sowie für ein unteres Stammteil mit i. a. 6 m Länge und für die Zopfstücke mit ebenfalls 6 m Länge getrennt kalkuliert.

Die Resultate der statistischen Auswertung der Abholzigkeiten (Mittelwerte, Standardabweichung, Variationskoeffizienten, größten und kleinsten Werte) sind in Tab. 3 zusammengefaßt.

Im Ergebnis kann man die ganzen Stämme als vollholzig bezeichnen, der Wert der Abnahme des Durchmessers in cm pro lfd. Meter beträgt weniger als 1 cm. Nach KNIGGE und SCHULTZ (1966) gilt als grober Richtwert für Abholzigkeit ein über 1 cm je lfd. Meter hinausgehender Durchmesserabfall. Dieser Grenzwert wird auch in der Praxis der Rundholzsortierung in Deutschland angenommen. Die Aussagekraft des Grenzwertes 1 cm/lfm ist allerdings bei der Bearbeitung im Sägewerk besonders dann von eingeschränkter Bedeutung, wenn der Stamm vor dem Einschneiden in einzelne Abschnitte zerlegt wird.

Bei starker Abholzigkeit sinkt die Ausbeute ab, gemindert werden außerdem die Festigkeitseigenschaften der erzeugten Ware, weil bei parallelem Schnitt mehr Jahrringe und Fasern durchschnitten werden als in vollholzigen Abschnitten (KNIGGE und SCHULTZ, 1966). Da aber die geprüften Abschnitte nur 4 m Länge aufwiesen, können diese Auswirkungen ohne Berücksichtigung bleiben.

2.3.3 Die Astigkeit des Holzes

Äste können die Verwendung des Holzes in sehr unterschiedlicher Weise beeinträchtigen. Im Dekorativbereich unterbrechen sie einheitliche Farbe und Zeichnung, besonders dann, wenn sie unregelmäßig und weit verteilt auftreten; sie beeinflussen durch ihr abweichendes Schwindverhalten, durch Rißbildung u. a. die Bearbeitbarkeit des Holzes, außerdem vermindern sie erheblich die Festigkeitseigenschaften von Holzkörpern (KOLLMANN, 1951, S. 795 ff; KNIGGE und SCHULTZ, 1966, S. 176).

Tab. 3: Abholzigkeit pro laufenden Meter in cm für Probestämme
Pinus radiata (n = 26)
(Mittelwerte, Standardabweichung, Variationskoeffizient (%),
größter und kleinster Wert)

	Stämme mit 12 m Länge	Erdstämme mit ca. 6 m Länge	Zopfstämme mit ca. 6 m Länge
Mittelwerte (cm/m)	0,90	1,20	0,60
Standardabweichung (cm/m)	0,34	0,65	0,25
Variationskoeffizient (%)	37,20	53,20	40,30
Größter Wert (cm/m)	1,50	2,30	1,30
Kleinster Wert (cm/m)	0,30	0,10	0,20

Da sich die Standortbedingungen auf die Qualitätsmerkmale des Holzes auswirken - schlechtere Standortbedingungen führen z. B. zu längeren Kronen, größeren Aststärken und ungünstigeren Astwinkeln (KÖNIG, 1970; SCHULZ, 1978; KRAMER, 1977) - und auch waldbauliche Maßnahmen von Bedeutung sind (ABETZ, 1972), ist es schwierig und mit Unsicherheit behaftet, eine Untersuchung der Astigkeit des Rundholzes durchzuführen und die Ursachen für diese vorzutragen.

Um einen Überblick über die Verteilung der Äste am Stamm zu erhalten und auch diese Verteilung in bezug auf Standortbedingungen und waldbauliche Maßnahmen zu interpretieren, wurde die Astigkeit ermittelt, d. h. die Lage jedes Astes und sein größter und kleinster Durchmesser gemessen sowie eine Charakterisierung des Astzustandes (Tot- oder Lebendast) vorgenommen.

Neben dem Astdurchmesser spielt die Häufigkeit und Verteilung der vorkommenden Äste eine wesentliche Rolle.

Die Ergebnisse der Astigkeitsuntersuchung sind in den Tab. 4 und 5 und in den Fig. 4 und 5 zusammengestellt. An der gesamten Stammlänge wurde ein mittlerer Astdurchmesser von 28,8 mm (Standardabweichung 13,6 mm, Variationskoeffizienten von 47,2 %) ermittelt. Die Häufigkeitsverteilung der Astdurchmesser zeigen für die gesamte Stammlänge eine große Variationsbreite an (Fig. 4); der maximale Grenzwert liegt über 75 mm. Tabelle 4 zeigt auch die statistische Auswertung des Astdurchmessers für den Erd-, Mitte- und Zopfabschnitt, je mit ca. 4 m Länge. Mit zunehmender Baumhöhe wachsen Streuung und Variationskoeffizient.

Tab. 4: Astdurchmesser in mm - Mittelwerte, Standardabweichung, Variationskoeffizient
Rundholz-Versuchskollektiv von Pinus radiata (n = 26 Stämme)

	Stammholz mit 12 m Länge	Erdabschnitt ca. 4 m Länge	Mitteabschnitt ca. 4 m Länge	Zopfabschnitt ca. 4 m Länge
Mittelwerte (mm)	28,8	25,9	28,3	30,5
Standardabweichung (mm)	13,6	10,9	14,2	15,8
Variationskoeffizient (%)	47,2	41,1	50,2	51,8

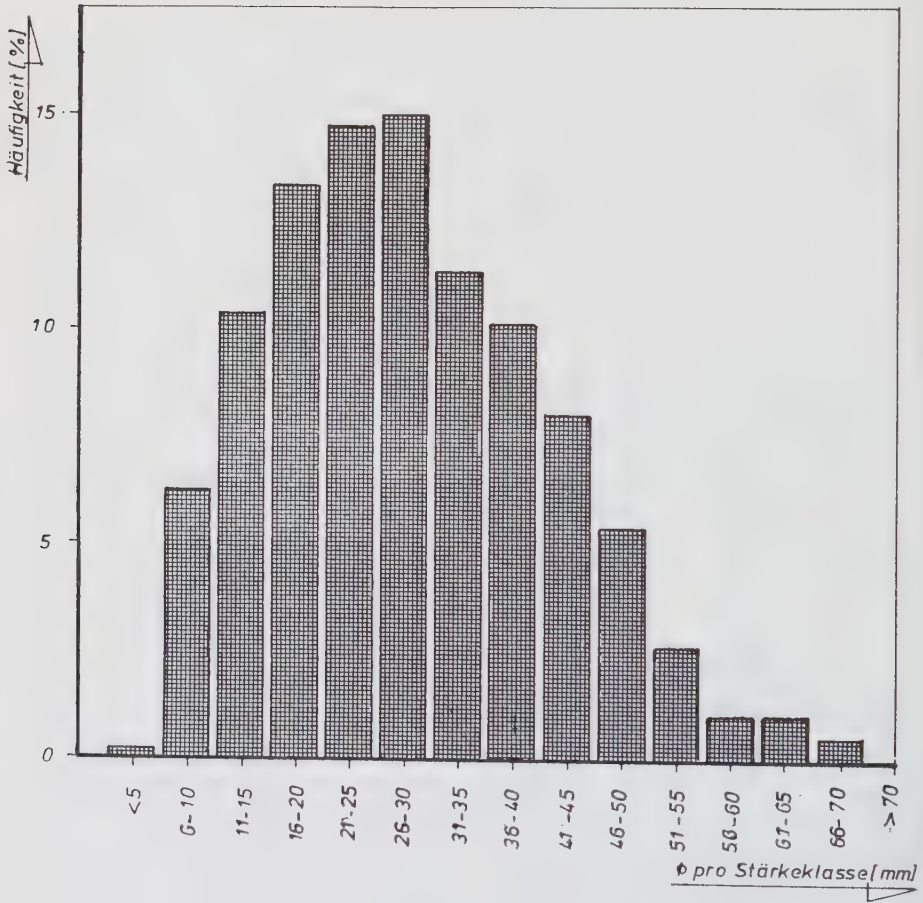


Fig. 4: Relative Häufigkeitsverteilung der Astdurchmesser
(Ast-Ø - Stärkeklassen in mm)

Die Astzahl ist neben den Astdurchmessern ein wichtiges Kennzeichen zur Beurteilung des Rundholzes. An der gesamten Stammlänge von 12 m wurde eine mittlere Astanzahl von 74 Ästen, d. h. 6,2 je lfm ermittelt, davon im Durchschnitt 18 Äste (= 24 %) am Erdabschnitt, 26 Äste (= 35 %) am Mittelabschnitt und 30 Äste (= 41 %) am Zopfabschnitt (Tab. 5). Eine besonders große Variationsbreite findet sich bei dem Erdabschnitt. Astanzahl und Astdurchmesser nehmen also erwartungsgemäß am Stamm von unten nach oben zu.

Als verwertungsrelevantes äußeres Qualitätsmerkmal hängt mit der Astigkeit die astfreie Stammlänge eng zusammen (Fig. 5). Die am häufigsten vorkommende astfreie Länge liegt in der Klasse von 21 bis 40 cm mit 26,1 %. Die oberen Grenzwerte liegen in der Klasse $> 1,40$ m, aber nur 9,8 % fällt auf Klassen über 1 m astfreie Länge.

2.3.4 Die Krümmung

Als Krümmung wird die Abweichung der Stammform von der Geraden bezeichnet, sie stellt eine erhebliche Beeinträchtigung des Gebrauchswertes des Rundholzes dar. Das Ausmaß der Wertminderung hängt neben dem Radius der Krümmung davon ab, ob sie ein- oder unschnürrig verläuft. Bei einschnürrigen Stämmen ist die Wertminderung geringer, da bei solchen Stämmen wenigstens in einer Richtung ein glatter Sägeschnitt durch den ganzen Stamm geführt werden kann. Unschnürrige Stämme müssen, je nach Verwendungszweck, gekürzt werden, um ein günstiges Ausnutzungsprozent zu erreichen (KÖNIG, E., 1970).

Tab. 5: Durchschnittliche Anzahl der Äste pro Stamm (12 m Länge) und pro Abschnitt (4 m Länge) - Mittelwert, Standardabweichung, Variationskoeffizient Rundholz-Kollektiv Pinus radiata (n = 26 Stämme)

	Stammholz (12 m Länge)	Erdabschnitt (ca. 4 m Länge)	Mitteabschnitt (ca. 4 m Länge)	Zopfabschnitt (ca. 4 m Länge)
Mittelwert (Nr/Stammholz)	74,0	18,0	26,0	30,0
Standardabweichung (Nr/Stammholz)	21,3	11,8	8,5	8,4
Variationskoeffizient (%)	28,8	64,0	34,2	28,0

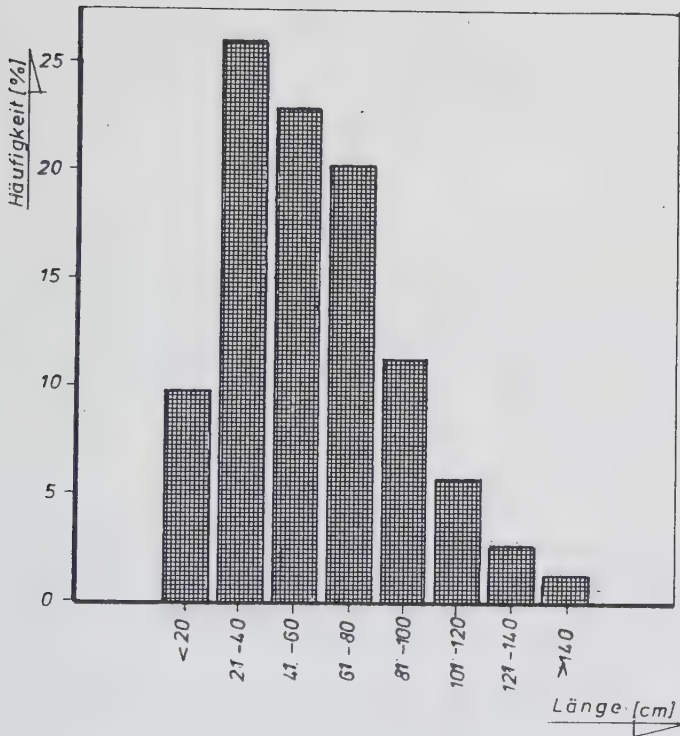


Fig. 5: Relative Häufigkeitsverteilung der astfreien Stammlängen

Die Krümmungen wurden folgendermaßen gemessen: Vom Stammfuß bis zum Zopf wurden die Stämme in vier Quadranten eingeteilt und Schnur gespannt, so daß über die gesamte Stammlänge die Differenz zwischen Stammverlauf und der Geraden sichtbar wurde. Anschließend wurden Krümmungsbeginn und Krümmungsende ermittelt und die Pfeilhöhe als Maß des Krümmungsradius an der Stelle der maximalen Krümmung gemessen als senkrechte Abweichung von der Geraden.

Die Meßwerte zeigen, daß 65,4 % der Stämme keine oder unbedeutende einschnürige Krümmungen aufweisen, 23,1 % der Stämme einschnürig waren und nur 11,5 % der Stämme in mehreren Ebenen gekrümmt waren. Die Lage der Pfeilhöhe befand sich in allen Fällen im Bereich zwischen 2 und 6 m vom Stammfuß aus gemessen.

2.3.5 Die Exzentrizität

Die Lage der Markröhre im Stamm wird bestimmt von der Gleichmäßigkeit des Wachstums der einzelnen Jahrringe. Normalerweise liegt sie etwa in der Mitte des Stammquerschnitts. Weicht sie stärker von der Stammachse ab, führt dies zu einer elliptischen Form des Stammquerschnitts. Man bezeichnet den Stamm als exzentrisch gewachsen. Nach KNIGGE und SCHULZ (1966, S. 262) kann man einen Stammquerschnitt als stark exzentrisch bezeichnen, wenn der Quotient aus dem größten und dem kleinsten Halbmesser 1,5 übersteigt. Als Ursachen exzentrischen Wachstums werden genannt: einseitige Kronenausbildung, einseitige Windeinwirkung, Wachstum an steilen Berghängen oder aber auch die Konkurrenz benachbarter Bäume (KÖNIG, 1970).

Da der exzentrische Stammquerschnitt zu einer geringeren Holzausbeute und zu Inhomogenität des Schnittholzes führt, wurde der entsprechende Quotient für Stammfuß und Stammzopf ermittelt. Die Werte betrugen 1,05 bzw. 1,07 für Stammfuß und Stammzopf. Damit können die Probestämme als nicht exzentrisch charakterisiert werden.

2.3.6 Die Sortierung nach HKS¹⁾

Um einen Überblick über die Eigenschaften des Rundholzes von *Pinus radiata* zu erhalten, wurde die gesamte Holzmenge von einem Forstbeamten und dem Inhaber eines Sägewerks²⁾ sowie einem Holztechnologen unabhängig voneinander nach den Güteklassen der HKS sortiert. Dabei wurden keine gravierenden unterschiedlichen Resultate festgestellt:

Nach den forstlichen Sortierungsgewohnheiten sollte die gesamte Holzmenge nach Güteklasse C sortiert werden. Ausschlaggebend war hierbei das Ausmaß der Astigkeit.

Anmerkungen: 1) HKS = Die Handelsklassensortierung für Rundholz mit ergänzenden Erläuterungen, Stand 01. Okt. 1974 - Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Weinbau und Forsten

2) Herrn lfd. Forstdirektor TRAUTMANN, Forstdirektion Freiburg sowie Herrn GANTERER, Sägewerksbesitzer aus Elzach, wird für ihre fachkundige Mithilfe gedankt

Der Sägewerksinhaber sortierte 20 Rundhölzer in Güteklasse C und 6 in Güteklasse D. Auch hier war für die Einstufung in Güteklasse C die Astigkeit ausschlaggebend. Charakteristisch für die Güteklasse D war zusätzlich eine auffällige Größe der Äste.

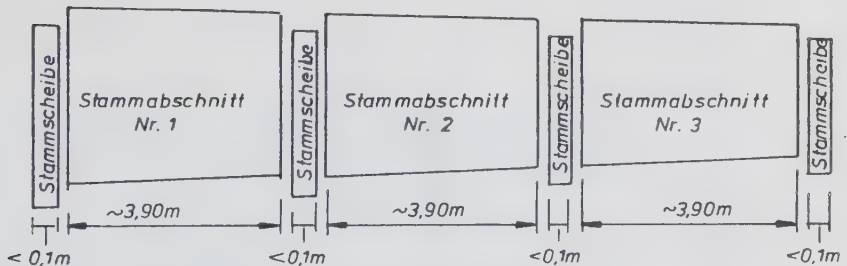
Die Güteansprache des Holztechnologen führte zur Aushaltung von 22 Stämmen in Güteklasse C (Astigkeit) und von 4 Stämmen in Güteklasse D, davon 3 wegen der Größe der Äste und einen wegen seiner Krümmung.

Gemessen an den bei der einheimischen Kiefer üblicherweise feststellbaren Sortenanteilen müssen die Versuchsstämme deshalb als unter dem Qualitätsdurchschnitt liegend angesprochen werden. Ausschlaggebend hierfür war die durchschnittliche Astigkeit, insbesondere auch die Dimension der Äste.

2.4 Aufbereitung des Untersuchungsmaterials

Nach der Aufnahme der äußerlich am Stammrundholz erkennbaren Qualitätsmerkmale wurden die Stämme entsprechend der Darstellung (Fig. 6) eingeschnitten. Die Stammscheiben dienten der Untersuchung holzphysikalischer Eigenschaften. Das aus den Stammabschnitten hergestellte Schnittholz wurde zur technologischen Prüfung verwendet.

Fig. 6: Einteilung des Rundholzes



2.4.1 Einschnitt des Stammholzes

Die Festlegung der Schnittholzdimensionen des Haupterzeugnisses richtete sich nach folgenden Überlegungen:

- die ausgewählte Dimension sollte charakteristisch für die Verwendung im Bauwesen sein,
- die Dimension sollte für die Gebrauchsprüfung geeignet und deshalb scharfkantig sein.

Dies führte zum Einschnitt von Kanthölzern der Abmessung 88 x 176 mm als Haupteuerzeugnis. Als Nebenerzeugnis wurden Seitenbretter von 24 mm Stärke ausgehalten. Um die Anzahl der aus dem jeweiligen Model zu erzeugenden Hauptprodukte vorkalkulieren zu können, wurde ein festes Einschnittprogramm vorgegeben (Fig. 7).

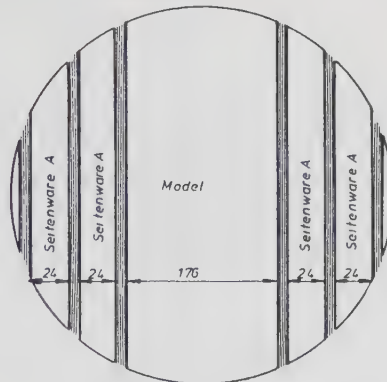
Die aus 26 Stämmen erzeugten 78 Blöcke wurden wie folgt eingeschnitten:

Vorschnitt: Im Vorschnitt wurden die Stämme gemäß des Anfalls und mit dem Zopf voraus zu Modeln (Stärke 176 mm) und Seitenbrettern (Stärke 24 mm) eingeschnitten (Fig. 7). Neben der Blocknummer wurde die Anzahl der aus dem einzelnen Model erzeugbaren Hauptprodukte (je nach Breite des Models 2 - 5) vermerkt. Die vor der Gattersäge notierte Blocknummer wurde auf Seitenware und Model angeschrieben. Die Model wurden mit der Beschriftung nach oben gestapelt und zum Nachschnitt befördert.

Nachschnitt: Nach Anordnung der Model entsprechend der Anzahl der Hauptprodukte wurde der Nachschnitt durchgeführt. Die Nummern der einheitlich ausgerichteten Model wurden hinter dem Gatter notiert und auf Seitenware und Kantholz übertragen (Fig. 7).

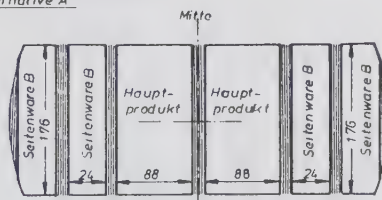
Im einzelnen wurde aus 34 Modeln 2 Kanthölzer, aus 36 Modeln 3 Kanthölzer, aus 5 Modeln 4 Kanthölzer und aus 2 Modeln 5 Kanthölzer der Stärke 88 mm erzeugt. Auf diese Weise wurden insgesamt 206 Kanthölzer mit einem Querschnitt von 88 x 176 mm und i. D. 3,90 m Länge erzeugt (Fig. 7). Von der Seitenware (24 mm Stärke) fielen bis zu 3 Stücke je Block an.

1. Durchgang (Stammholz)



2. Durchgang (Model)

Alternative A



Alternative B

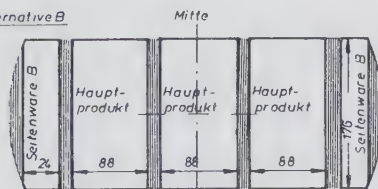


Fig. 7: Einschnittprogramm

Der Einschnitt an der Gattersäge verlief problemlos; Schwierigkeiten, z. B. durch starkes Harzen, wurden nicht festgestellt. Entsprechend der Zielsetzung der Untersuchung und dem hiervon abgeleiteten einheitlichen Einschnittprogramm mußte die Frage der optimalen Ausbeute vernachlässigt werden.

2.4.2 Die Schnittholztrocknung

Das erzeugte Schnittholz wurde nach dem Einschnitt vom Gatter aus in die Trockenkammer transportiert, um schadlos und schnell auf Lufttrockenheitsgrad gebracht zu werden. Zur Trocknung wurde das für Kiefer (*Pinus silvestris*) übliche Trocknungsprogramm benutzt, d. h. eine Lufttemperatur von ca. 50° C bei einer relativen Luftfeuchte von ca. 50 bis 60 %.

Die Hölzer wiesen anfänglich einen 50 bis 60 %igen Feuchtigkeitsgehalt auf. Nach 23 Tagen Trocknungszeit lag der Durchschnittswert bei 13,4 %. Die Standardabweichung erreichte $S_x = 3,70$ und der Variationskoeffizient $CV = 27,6$ %. Dieses Ergebnis weist darauf hin, daß sich das Holz von *Pinus radiata* offensichtlich nicht einfach trocknen läßt. Gründe hierfür könnten der beachtliche Harzgehalt, die unterschiedliche Rohdichte der Kanthölzer im inneren und äußeren Bereich sowie die verschiedene Jahrringbreite sein.

Das getrocknete Schnittholz wies nach dem Trocknungsprogramm keine Schäden auf, hingegen war das Kantholz, das aus dem inneren Querschnittsbereich geschnitten wurde, geschädigt: In

einigen Fällen trat ein außergewöhnlicher "Twist"¹⁾ auf. Ursache ist ein abweichender Faserverlauf (NORTHCOTT, 1965). Es waren vor allem solche Kanthölzer, bei denen die Markröhre in der Mitte des Querschnitts verlief, durch "Twist" geschädigt. Bei exzentrischer Lage des Marks trat der "Twist"-Schaden nicht auf, dafür aber gewisse Holzkrümmungen.

¹⁾ "Twist": Abweichung einer Ecke eines Brettes von der durch die übrigen drei Ecken festgelegten Brettebene

3. PHYSIKALISCHE UND MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN DES PROBENMATERIALS

Die Schnellwüchsigkeit von *Pinus radiata* in den Subtropen und die übliche kurze Umtriebszeit als Konsequenz verstärkt einige Verwendungsprobleme des Holzes. Zunächst fällt die Bildung von marknahen Zonen jugendlichen Holzes auf als Folge des schnellen Durchmesserzuwachses in den ersten Jahren, ein anderes Merkmal ist das unterschiedliche Gewicht als Folge der Jahrringstruktur und die verminderte Festigkeit des inneren Schaftteils.

Jugendliches Holz von *Pinus radiata* bildet sich in den ersten 5 bis 6 Jahren, d. h. es nimmt einen inneren Durchmesser von ungefähr 25 cm ein und beansprucht einen relativ hohen Anteil an der Gesamtholzproduktion bei kurzen Umtriebszeiten. Zwar kann dies als charakteristisch für alle Nadelhölzer gelten, bei *Pinus radiata* kommt aber hinzu, daß dieses Holz in der Regel zusätzlich Drehwuchs aufweist (HARRIS, 1965). Dieser Drehwuchs muß als unerwünschte Eigenschaft betrachtet werden und wirkt sich bei der Rund- und Schnittholzsortierung qualitätsmindernd aus. Die Biegefestigkeit des Holzes nimmt stark ab, wodurch die Verwendung als Bauholz erheblich eingeschränkt ist. Auch gilt das sog. Twisten der Schnittware als besonderer Holzfehler.

3.1 Ziel der Untersuchung

Es ist eines der Ziele der Untersuchung, die wesentlichen mechanischen Eigenschaften des Holzes der *Pinus radiata* darzustellen. Die Streuung und Verteilung dieser Merkmale verdienen hierbei besonderes Interesse, nachdem sich der Schnellwuchs in der Regel mit einer großen Variabilität der Holzeigenschaften verbindet (KNIGGE/LEMARK, 1976; NOACK, 1976; BENDTSEN, 1978).

Die physikalischen und mechanischen Eigenschaften schnellwüchsiger Baumarten wurden des Öfteren untersucht, allerdings vorrangig in bezug auf die Zellstoffproduktion (BENDTSEN, 1978). Hingegen fehlen experimentelle Ergebnisse im Zusammenhang mit den bei Schnittholz erwünschten Eigenschaften. Für hölzerne Bauelemente und Konstruktionsteile sind u. a. Rohdichte und Schwindmaß wichtige Merkmale, wobei eine enge Korrelation zwischen Festigkeitseigenschaften und Schwindmaß zu beobachten ist.

Neben der Bestimmung und Verteilung der Rohdichte und des Schwindmaßes hat die Jahrringbreite eine gewisse Bedeutung. Nach KNIGGE (HILF, 1959) werden Schwankungen der Rohdichte signifikant durch den Spätholzanteil bestimmt. Die Jahrringbreite und ihre Verteilung werden als Parameter zur Qualitätsbeurteilung schnellwüchsiger Nadelbaumarten empfohlen (LARSON, 1972).

Ziel dieses Teils der Untersuchung der physikalischen und mechanischen Eigenschaften ist deshalb die Erarbeitung von Hinweisen, wie sich die genannten Merkmale auf den Stammquerschnitt verteilen und welche Beziehungen zwischen Teilen des Querschnitts bestehen.

3.2 Physikalische Merkmale der Stammquerschnitte

3.2.1 Methodik

In das Probenmaterial wurden von sämtlichen 26 Stämmen jeweils Stammscheiben vom Stammfuß, aus 4 m und 8 m Höhe und vom Stammzopf einbezogen. Für die Bestimmung der Rohdichte und des Schwindmaßes wurden die Stammquerschnitte in 2 Teile geteilt; in einen inneren Bereich von ca. 25 cm Durchmesser sowie den sich als Ring darumlegenden äußeren Sektor. Auf der Basis dieser Einteilung wird das (nachfolgend sogenannte) juvenile Holz (jugendliches Holz) mit dem reifen Holz verglichen.

Die Rohdichte von Holz wird aus Gewicht und Volumen berechnet, das Gewicht läßt sich auf Präzisionswaagen bestimmen. Die Ermittlung des Volumens erfolgt an regelmäßig ausgeformten Probenkörpern nach DIN 52 181 durch Ausmessen. Aus dem inneren und äußeren Bereich jeder Stammscheibe wurden 2 zufällige Proben entnommen, d. h. sowohl 52 Proben aus dem inneren als auch 52 Proben aus dem äußeren Bereich. Die Holzproben wiesen einen Querschnitt von 30 x 30 mm und eine Länge von 100 mm auf.

Das Schwindmaß wird definiert als Unterschied zwischen den Abmessungen einer frischen bzw. wassergetränkten und einer getrockneten Probe, bezogen auf die Abmessungen der frischen bzw. wassergetränkten Proben. Die Prüfung erfolgt nach DIN 52 184.

Die Bestimmung der unterschiedlichen tangentialen, radialen und longitudinalen Schwindmaße erfolgte danach an Proben mit einem Querschnitt von 30 x 30 x 100 mm. Zunächst wurden ihre Abmessungen in wassergesättigtem und in absolut trockenem (darr-trockenem) Zustand ermittelt und aus diesen Werten die verschiedenen Schwindmaße jeder einzelnen Probe berechnet.

Zur weiteren Beurteilung der holzanatomischen Unterschiede zwischen dem inneren und äußeren Bereich wurde zusätzlich die Verteilung der Jahrringbreite anhand der in 4 m Höhe entnommenen Stammscheiben ermittelt. Die Jahrringbreite wurde durch zweimalige Messung in senkrechter Richtung bestimmt.

3.2.2 Ergebnis der Rohdichteuntersuchungen

Ein wichtiger Kennwert für die Eigenschaften und die Brauchbarkeit von Hölzern ist ihre Rohdichte, auch stellt sie einen geeigneten Parameter bei Vergleichen dar. Zur verlässlichen Kennzeichnung benötigt man außer den Mittelwerten Standardabweichung und Variationskoeffizient.

Der Variationskoeffizient drückt die Streuung in Prozenten des Mittelwertes aus und eignet sich besonders als Relativwert für den Vergleich der Streuungen verschiedener Holzeigenschaften.

Mittelwerte, Standardabweichung und Variationskoeffizient für die beiden Bereiche und das Gesamtmittel für den inneren und äußeren Bereich sind in Tab. 6 aufgeführt. Die Rohdichte weist einen Wert von $r_{12} = 0,45 \text{ g/cm}^3$ auf. Die Streuung um das Gesamtmittel beträgt $0,06 \text{ g/cm}^3$, der Variationskoeffizient 13,3 %. Dieses Ergebnis liegt im Rahmen kalkulierter Rohdichtewerte, die in der Literatur für die Gattung Pinus angegeben wird (KOLLMANN, 1951, S. 355 ff; KNIGGE/SCHULZ 1966, S. 135).

Tab. 6: Holzphysikalische Eigenschaften von *Pinus radiata* (Rohdichte 12 %) für die gesamten Querschnitte sowie für Holz aus dem inneren und äußeren Bereich einer Stammscheibe - Mittelwerte, Standardabweichung und Variationskoeffizient - Rohdichte g/cm^3

Rohdichte (r_{12}) in g/cm^3			
	BEREICH		GESAMTMITTEL
	Innere	Äußere	
$\bar{x}$	0,42	0,47	0,45
Sx	0,05	0,06	0,06
CV	11,90	11,70	13,33

Mit $r_{12} = 0,45 \text{ g/cm}^3$ liegen sie allerdings niedriger als die von NOCK (1978) mit $0,49 \text{ g/cm}^3$ publizierten Dichten, stimmen aber mit anderen Veröffentlichungen überein (vgl. Tab. 7).

Da die mittlere Rohdichte des äußeren Bereichs (bei einem Wert von $r_{12} = 0,47 \text{ g/cm}^3$) mit dem Wert übereinstimmt den BRÖKER (1980) für das Gesamtholz gefunden hat und auch die mittlere Rohdichte des inneren Bereichs (bei einem Wert von $r_{12} = 0,42 \text{ g/cm}^3$) sich mit veröffentlichten Werten deckt (vgl. Tab. 7, ANONYMUS, 1977), ist anzunehmen, daß das Material dieser Autoren nicht die unterschiedliche Zusammensetzung repräsentiert.

Die Variationsbreite der Rohdichte des inneren und äußeren Bereichs beträgt $0,24 \text{ g/cm}^3$ bei einem Variationskoeffizienten von 11,9 % für den inneren Bereich und 11,7 % für die äußeren Bereiche.

Tab. 7: Rohdichte und Holzfeuchtigkeit für *Pinus radiata* aus CHILE, nach verschiedenen Quellen

Autor		Feuchtigkeit %	Rohdichte g/cm ³
Nock	(1978)	12,0	0,49
Bröker	(1980)	11,8	0,47
Anonymus	(1978) ¹⁾	12,0	0,45
Anonymus	(1977) ¹⁾	12,0	0,42
Eigene Versuche (1981)		12,0	0,45

¹⁾ Quelle: BRÖKER (1980)

Beim äußeren Bereich liegen die Mittelwerte wesentlich höher ($r_{12} = 0,47 \text{ g/cm}^3$) im Vergleich zum inneren Bereich ($r_{12} = 0,42 \text{ g/cm}^3$). Der Unterschied ist entsprechend der durchgeführten Varianzanalyse (Tab. 8), nicht mehr aus zufälligen Schwankungen erklärbar, d. h., der Unterschied kann mit 95 % bzw. 99 % Wahrscheinlichkeit als "signifikant" angenommen werden.

Tab. 8: Varianzanalyse der Rohdichte (12 %) des inneren und äußeren Bereichs

	Freiheitsgrad	Summe der Quadrate	Durchschnitts- quadrat	F
Zwischen den Gruppen	1	0,08	0,08	35,95
Innerhalb der Gruppen	102	0,28	⁻³ 2,71.10	
Insgesamt	103	0,36		

$$F_{05.1.102} = 3,94 < 30,95^x$$

$$F_{01.1.102} = 6,90 < 30,95^{xx}$$

In Fig. 8 ist die Häufigkeitsverteilung der Rohdichte als Gesamtmittelwert und für den inneren und äußeren Bereich getrennt dargestellt. Es zeigt sich eine in befriedigender Weise normal verteilte Streuung der Einzelwerte um die Ausgleichsfunktionen. Der Unterschied zwischen der Rohdichte (12 %) des inneren und äußeren Bereichs beträgt $r_{12} = 0,05 \text{ g/cm}^3$ und ist vorrangig auf den niedrigen prozentualen Anteil an Spätholz im Jahrring zurückzuführen (vgl. BENDTSEN, 1978).

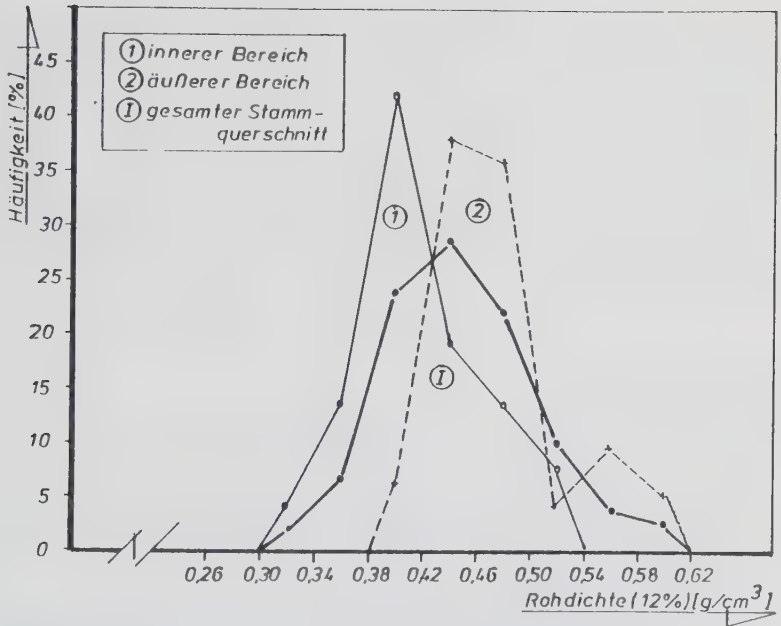


Fig. 8: Häufigkeitsverteilung der Rohdichte (12 %) von *Pinus radiata*

Die Streuung der Rohdichte hängt mehr von der Variation des Spätholzanteils ab, als die Variation der Rohdichte von Früh- und Spätholz (KOLLMANN und COTE, 1968, S. 175). Eine Untersuchung über die Eigenschaften von *Pinus taeda* L. (PERSON & GILMORE, 1980) weist darauf hin, daß junges Holz durch eine niedrige Rohdichte gekennzeichnet ist, d. h. die Zunahme der Rohdichte vom Mark zur Rinde hin ist von der Breite der Jahresringe weitgehend unabhängig und damit ein reines Altersphänomen.

3.2.3 Schwindmaße

Es ergeben sich von waldfrischem zum darrtrockenen Zustand, bezogen auf die Grünabmessung für den inneren und äußeren Bereich folgende tangentielle, radiale und longitudinale Schwindmaße, die in Tab. 9 zusammengestellt sind.

Tab. 9: Longitudinale, tangentielle und radiale Schwindmaße - Mittelwerte, Standardabweichung und Variationskoeffizient von innerem und äußerem Bereich, Schwindmaß in % - (*Pinus radiata*)

B E R E I C H						
	Innere			Äußere		
	Tang.	Rad.	Long.	Tang.	Rad.	Long.
$\bar{x}$	5,28	2,61	0,50	6,45	3,27	0,50
Sx	0,84	0,39	0,19	1,14	0,82	0,15
C.V.	15,91	14,94	38,40	17,67	25,08	30,50

Diese Gegenüberstellung läßt erkennen, daß die mittleren Schwindmaße von *Pinus radiata* hier geringfügig unter den von NOCK und BÖTTCHER (1978) gefundenen maximalen Schwindmaßen liegen, aber über denjenigen, die BRÖKER (1980) nennt. Die für den inneren und äußeren Bereich ermittelten Variationskoeffizienten sind ebenfalls niedriger als die von BRÖKER (1980) gefundenen Werte.

Die Differenz zwischen dem tangentialen sowie dem radialen Schwindmaß des inneren und äußeren Bereichs, ist, nachgewiesen anhand einer Varianzanalyse (Tab. 10 und 11) mit 95 % bzw. 99 % Wahrscheinlichkeit abgesichert.

Tab. 10: Varianzanalyse für das tangentiale Schwindmaß für den inneren und äußeren Bereich von Stammscheiben von *Pinus radiata*

	Freiheitsgrad	Summe der Quadrate	Durchschnitts- quadrat	F
Zwischen den Gruppen	1	35,19	35,19	34,97
Innerhalb der Gruppen	102	102,66	1,01	
Insgesamt	103	137,85		

$$F_{0.05.1.102} = 3,94 < 34,97^x$$

$$F_{0.01.1.102} = 6,90 < 34,97^{xx}$$

Tab. 11: Varianzanalyse für das radiale Schwindmaß für den inneren und äußeren Bereich von Stammscheiben von *Pinus radiata*

	Freiheits- grad	Summe der Quadrate	Durchschnitts- quadrat	F
Zwischen den Gruppen	1	11,15	11,15	27,49
Innerhalb der Gruppen	102	41,73	0,41	
Insgesamt	103	52,98		

$$F_{05.1.102} = 3,94 < 27,49^x$$

$$F_{01.1.102} = 6,90 < 27,49^{xx}$$

Die longitudinalen Schwindmaße weisen in beiden Fällen zwar denselben Wert auf, die Variationsbreite ist aber im inneren Bereich größer als im äußeren Bereich. Eine Ursache hierfür ist in den verschiedenen Rohdichten zu sehen. Entsprechend dem relativen Anteil der quellfähigen Zellwandsubstanz an der Raumeinheit verändert sich die Schwindung im großen und ganzen parallel zum Holzgewicht (KNIGGE und SCHULZ, 1966, S. 127) womit sich ebenfalls die unterschiedlichen Schwindmaße zwischen innerem und äußerem Bereich erklären lassen.

Der Durchschnitt des Längsschwindmaßes liegt bei innerem und äußerem Bereich bei 0,5 %, beim radialen Schwindmaß bei 2,61 bzw. 3,27 % und beim tangentialen Schwindmaß bei 5,28 bzw. 6,45 % des Frischvolumens.

Dies bedeutet, daß die radiale Schwindung etwa das 6fache, die tangentielle das 12fache des longitudinalen Schwindmaßes beträgt. Hieraus geht hervor, daß das Holz von *Pinus radiata*, gemessen an anderen Nadelhölzern und bezogen auf das Gewicht, ein etwas niedrigeres Schwindmaß aufweist.

3.2.4 Jahrringbreite

In Fig. 9 wird die Häufigkeitsverteilung der Jahrringbreiten angegeben. Die Messung wurde an Stammscheiben vorgenommen, die in 4 m Höhe über dem Fällschnitt entnommen wurden.

Die Jahrringbreite schwankt zwischen 1,0 und 21,0 mm, der häufigste Wert liegt mit einem prozentualen Anteil von 13,9 % bei etwa 4,0 mm.

Aus Fig. 9 läßt sich weiter entnehmen, daß 38,8 % Stammscheiben eine mittlere Jahrringbreite unter 5,0 mm, 32 % eine solche zwischen 5,0 und 10,0 mm, 18 % zwischen 10,0 und 15,0 mm, und bei 11,2 % eine solche von mehr als 15,0 mm aufweisen.

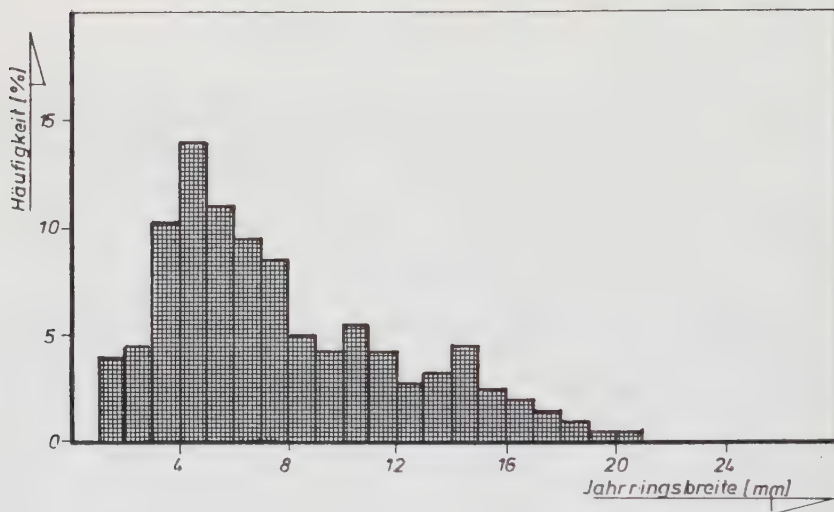


Fig. 9: Häufigkeitsverteilung der Jahrringbreiten von *Pinus radiata* (26 Bäume, Baumalter 25 Jahre)

Die Jahrringbreite und damit zwangsläufig der Durchmesserzuwachs ist bekanntermaßen auch vom Alter abhängig. In den ersten Lebensjahren sind, wie die Stammscheiben zeigen, die Ringbreiten relativ gering, steigen dann rasch zu einem Maximum an, um dann mit zunehmendem Lebensalter allmählich und fortlaufend abzunehmen. Der Stärkenzuwachs kulminiert im Beispielsfall im Durchschnitt etwa im 4. oder 5. Lebensjahr. Die Zuwachskurve, anhand der Messungen in 4 m Höhe abgeleitet, ist in Fig. 10 wiedergegeben. Diese Kurve wurde anhand der mittleren Jahrringbreiten jeden Lebensjahres konstruiert. Es kann davon ausgegangen werden, daß im betreffenden Bestand, dem die Versuchshölzer entnommen wurden, keine Durchforstungen durchgeführt wurden.

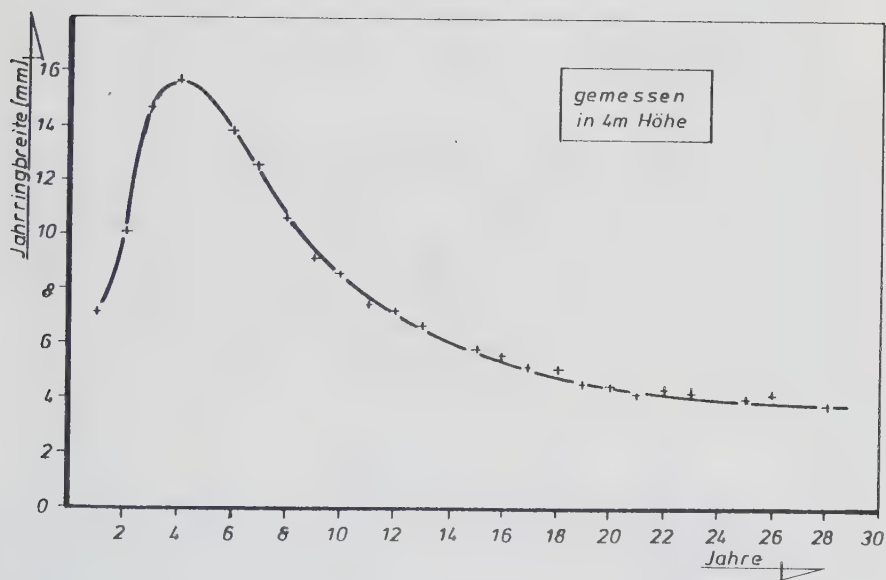


Fig. 10: Veränderung der Jahringbreite in Abhängigkeit vom Baumalter (gemessen in 4 m Höhe) *Pinus radiata* (n = 26 Bäume)

3.2.5 Jahrringbreite und Rohdichte

Bereits im Altertum vermutete man, daß zwischen Jahrringbreite und Holzqualität enge Beziehungen bestehen und daß die Rohdichte mit zahlreichen Holzeigenschaften im Hinblick auf die Holzverwendung eng korreliert seien, jedoch ist diese Aussage nicht unumstritten (s. u.).

Zur Charakterisierung der Beziehung zwischen Jahrringbreite und Rohdichte beim Versuchsholz von *Pinus radiata* wurden insgesamt 104 Proben (Größe: 3 x 3 x 10 cm) zufällig aus Stammquerschnitten in verschiedener Höhe entnommen und nach Jahrringbreite und Rohdichte (r_{12}) geordnet. Statistisch ergab sich ein Korrelationskoeffizient zwischen den beiden Eigenschaften von $R = 0,51$. Eine Regressionsanalyse ergab folgende Gleichung

$$Y = 2,62 X - 1,60$$

mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,35$. Trotz einer großen Streuung der Daten ist sie mit 95 % und 99 % Wahrscheinlichkeit statistisch gesichert (Fig. 11). Da das Probenmaterial zufällig aus dem Stammquerschnitt entnommen wurde, ist die Aussagekraft über andere Einflüsse wie das Alter, die Lage im Stammquerschnitt usw. vermindert.

Nach MAYER-WEGELIN (zit. in TRENDLENBURG und MAYER-WEGELIN, 1955, S. 401) ist ein eindeutiger Einfluß der Jahrringbreite auf die Rohdichte auch bei Aufteilung des Materials nach Alter und Lage im Stamm zu erkennen.

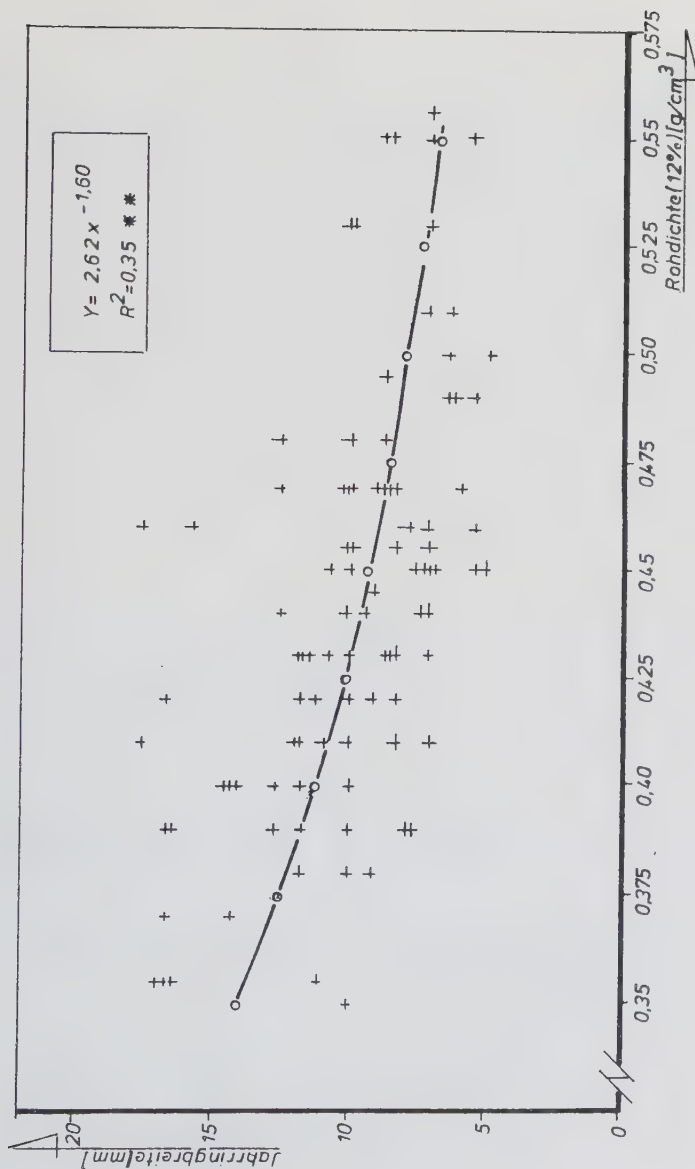


Fig. 11: Zusammenhänge zwischen der Rindichte (r_2) und der Jahringbreite (mm) für *Pinus radiata* (Probenahme in 4 m Höhe, n = 26 Bäume)

Nach TURNBULL (1947) (zit. in TRENDLENBURG und MAYER-WEGELIN, 1955, S. 400 f.) ist an raschwüchsigen Kiefernarten wie *Pinus radiata* und *Pinus palustris*, die u. a. in Südafrika unter häufig besonders günstigen Bedingungen angebaut werden, zu beobachten, daß die Jahrringe von innen nach außen breiter statt enger werden, und daß die Raumdichte des Holzes ebenfalls von innen nach außen zunahm. Die Autoren zogen hieraus die Schlußfolgerung, daß die Dichtezunahme des Holzes vom Mark zur Rinde hin allein durch das Ansteigen des Alters bedingt sei, und mit der Jahrringbreite nichts zu tun habe.

Nach ZOBEL und MCELWEL (1958) korreliert die Rohdichte mit dem Alter besser als mit der Jahrringbreite, PEARSON und GILMORE (1980) haben in einer Arbeit über *Pinus taeda* veröffentlicht, daß auch die Fruchtbildung keine signifikante Änderung der Rohdichte mit sich bringt. Die ausgeprägte Variation von Marknähe bis Rinde ist stärker vom Baumalter abhängig als von der Jahrringbreite, d. h. der jeweils innere Bereich ein und derselben Baumart zeigt eine Tendenz zu vergleichbaren Rohdichtewerten (BENDTSEN, 1978).

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die Jahrringbreite allein einen recht unsicheren Maßstab zur Beurteilung der Holzigenschaften darstellt und bei Hölzern mit gleich breiten Anteilen an Früh- und Spätholz in den Zuwachszonen die Dichte des Holzgefüges innerhalb des Jahrringes sehr verschieden groß sein kann (vgl. TRENDLENBURG/MAYER-WEGELIN, 1955).

3.3 Festigkeitseigenschaften von fehlerfreien Holzproben

Eine wesentliche Fragestellung der Untersuchung bestand in der Klärung der mechanischen Holzeigenschaften einer Plantagenholzart am Beispiel von *Pinus radiata* aus Chile. Außerdem sollte die Abhängigkeit der Holzfestigkeit von verschiedenen Einflußgrößen beispielhaft geprüft werden. Zur Kennzeichnung dieser Zusammenhänge wurden die Beziehungen zwischen den verschiedenen Festigkeitseigenschaften, d. h. des Biege-Elastizitätsmoduls, der Biege- und der Druckfestigkeit und der Rohdichte untersucht. Weiterhin sollte die zulässige Spannung in bezug auf die Biegefestigkeit berechnet werden.

3.3.1 Methodik

Aus jedem Stamm wurden zufällig vier Proben, d. h. insgesamt 104 Proben entnommen, und zwar sowohl aus dem inneren als auch aus dem äußeren Bereich (vgl. Abschnitt 3.2.1) und ihre Biege- bzw. Druckfestigkeit bestimmt: Zur Ermittlung der Biegefestigkeit wurden Stäbe mit einem Querschnitt von 50 x 50 mm und 100 cm Länge hergestellt. Für die Druckfestigkeit wurden Proben mit einem Querschnitt von 30 x 30 mm und 120 mm Länge geprüft.

Die Ausformung der Proben für Biegefestigkeit entsprach der amerikanischen Norm ASTM D-143-52, die weitere Behandlung und Prüfung entsprach den Deutschen Normvorschriften DIN 52 186 beim Biegeversuch und DIN 52 185 beim Druckversuch. Die Proben wurden bei 20° C und 65 %iger relativer Luftfeuchtigkeit in einer Klimakammer bis zum Feuchte-Gleichgewichtszustand gelagert,

d. h. bei einer Holzfeuchtigkeit von 12 % geprüft. Bei allen Proben wurde der Feuchtigkeitsgehalt zum Zeitpunkt der Prüfung ermittelt und auf dem Probenquerschnitt die Jahrringbreite nach DIN 52 181 bestimmt.

Die statische Biege- und Druckfestigkeit wurde mit Hilfe einer Universalprüfmaschine mit 10 t Höchstlast in den entsprechenden Lastbereichen bestimmt. Die Biegespannung und das Biege-Elastizitätsmodul wurde nach Gleichung (2) und (5) der DIN-Vorschrift 52 186 (DIN-Taschenbuch 31, 1975) ermittelt. Sämtliche Resultate, d. h. also die Werte für die Biegefestigkeit, das E-Modul und die Druckfestigkeit wurden auf Holzproben mit 12 %iger Holzfeuchtigkeit bezogen und bei Abweichung mit folgenden Faktoren korrigiert:

- Biege-Elastizitätsmodul - 1,5 % pro 1 %iger Abweichung zu 12 % Holzfeuchtigkeit
- Biegefestigkeit - 4 % pro 1 %iger Abweichung von 12 % Holzfeuchtigkeit
- Druckfestigkeit - 5 % pro 1 %iger Abweichung von 12 % Holzfeuchtigkeit

(DITCHBURNE, KLOOT und RUMBALL, 1975).

Die statistische Auswertung bezog sich im wesentlichen auf eine Variationsanalyse zur Beurteilung des Unterschiedes zwischen innerem und äußerem Stammbereich. Bei der Untersuchung vermuteter Zusammenhänge wurden regressionsanalytische Berechnungen benutzt.

Zur Bestimmung der zulässigen Spannung für die Biegefestigkeit wurde ein Vorschlag von NOACK (1971) benutzt.

3.3.2 Feststellungen zum Gesamtergebnis

Bezüglich der Festigkeitseigenschaften interessieren zunächst die Mittelwerte des umfangreichen und weit gestreuten Probenmaterials. Diese sollen mit Untersuchungsergebnissen anderer Autoren verglichen werden, insbesondere bezüglich der Aussagekraft der Festigkeitswerte schnellwüchsiger *Pinus radiata*-Hölzer.

Zuzüglich zu den Mittelwerten sollten darüber hinaus die Maße für die Streuung der Eigenschaften wie die Standardabweichung ($\bar{s}_x$) bzw. der Variationskoeffizient (CV) hergeleitet werden (NOACK, 1971). Da in der Bauindustrie bei der Berechnung der zulässigen Spannungen, die Holzbauteilen maximal zugemutet werden dürfen, grundsätzlich von der Untergrenze der Festigkeitsvariation ausgegangen wird, ist es notwendig, auch die Häufigkeitsverteilung der Festigkeitswerte zu kennen.

Neben Mittelwerten, Streuungen und Häufigkeitsverteilungen der Festigkeitseigenschaften spielt, wie bereits erwähnt, die Rohdichte eine besondere Rolle. Aus diesem Grund soll der Korrelation zwischen Festigkeitseigenschaften und der Rohdichte besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Die Ergebnisse der Festigkeitsuntersuchungen sind für das gesamte Stammquerschnittsmaterial, sowohl für den inneren als auch äußeren Bereich, in Tab. 12 zusammengestellt.

Tab. 12: Mechanische Holzeigenschaften von *Pinus radiata*, für Holz aus innerem und äußerem Stammquerschnittsbereich und für den gesamten Stammquerschnitt ($\bar{x}$ = Mittelwert; $S\bar{x}$ = Standardabweichung; CV = Variationskoeffizient)

		innerer Bereich	äußerer Bereich	Insgesamt
Biegesteifigkeit $\bar{x}$ (N/mm^2)	$\bar{x}$	66,41	79,81	74,82
	$S\bar{x}$	15,90	19,41	19,79
	CV.	23,94	24,32	26,45
Biege-Elastizitätsmodul (N/mm^2)	$\bar{x}$	9016	11929	11026
	$S\bar{x}$	2108	2213	2412
	CV.	23,38	18,55	21,88
Druckfestigkeit $\bar{x}$ (N/mm^2)	$\bar{x}$	32,27	38,19	35,07
	$S\bar{x}$	8,62	8,56	9,09
	CV.	26,71	22,41	25,91

Die durchschnittliche Biegefestigkeit für das gesamte Material des Stammquerschnitts beträgt $74,82 N/mm^2$. Dieser Wert stimmt mit demjenigen von BRÜCKER (1980), der $76,7 N/mm^2$ angibt, nahezu völlig überein. NOCK (1978) fand ebenfalls bei *Pinus radiata* einen Wert von $91 N/mm^2$, also eine höhere Festigkeit. Auch geringere Werte wurden bereits publiziert und zwar mit $65,7 N/mm^2$ (ANOM, 1977). Tab. 13 enthält Ergebnisse anderer Untersuchungen von *Pinus radiata*, die unter anderem in Australien und Südafrika durchgeführt wurden.

Tab. 13: Physikalische und mechanische Holzeigenschaften (Mittelwerte)
von Pinus radiata aus verschiedenen Herkunftten und Untersuchungen
im Vergleich

	LANGLANDS, I. (1938) (Australien)	DITCHBURN, N. (1975) (Australien)	BANKS, C. H. (1977) (Südafrika)	ANOM. (1977) (Chile)	NOCK, P. (1978) (Chile)	BRÖKER, F. W. (1980) (Chile)	eigene Untersuchung (1981) (Chile)
Biegefestigkeit (N/mm ²)	78,50	93,00	1. 68,00 2. 85,00	65,70	91,00	76,70	3. 66,40 4. 79,80
E-Modul (N/mm ²)	10000	12300	1. 8600 2. 12900	3500	10510	8800	3. 9020 4. 11930
Druckfestigkeit (N/mm ²)	39,00	52,00	1. 32,70 2. 37,00	37,00	---	37,90	3. 32,30 4. 38,20
Rohdichte (12%) (g/cm ³)	0,502	0,549	1. 0,480 2. 0,550	0,450	0,490	0,470	3. 0,420 4. 0,470

1. Alter 15 Jahre
2. Alter 34 Jahre

3. Holz von innerem Bereich
4. Holz von äußerem Bereich

Der Variationskoeffizient beträgt 26,45 %, ein Wert, der bei langsam wachsenden mittel- und nordeuropäischen Hölzern als hoch anzusprechen ist, bei schnellwüchsigen Plantagenbaumarten im Bereich der Streuung liegt (BRÜKER, 1980; KNIGGE und LEWARK, 1976).

Das mittlere Biege-Elastizitätsmodul (E-Modul) beträgt für den gesamten Stammbereich $11\,026\text{ N/mm}^2$. Dieser Wert liegt geringfügig über dem von NOCK (1978) mit $10\,510\text{ N/mm}^2$ gemessenen Daten, allerdings wesentlich höher als die von BRÜKER (1980) und ANOM. (1977) bei $8\,800\text{ N/mm}^2$ bzw. $8\,500\text{ N/mm}^2$ publizierten Daten. Auch beim Biege-Elastizitätsmodul können in der Literatur höhere Werte als das eigene Ergebnis gefunden werden und zwar wurden für *Pinus radiata* in Australien $12\,300\text{ N/mm}^2$, bei mehr als 20 Jahre alten Bäumen unter einem Stammdurchmesser von 1,30 m gemessen (DITCHBURNE, 1975), (Tab. 13).

Der Variationskoeffizient beträgt 21,88 %, d. h. das Biege-Elastizitätsmodul bewegte sich innerhalb der akzeptierten Grenzen und stellte eigentlich keinen Holzfehler bei diesem doch sehr heterogenen Material dar.

Die Druckfestigkeit wird ausgedrückt in N/mm^2 und beträgt beim untersuchten Material im Durchschnitt $35,07\text{ N/mm}^2$. Sie liegt nicht wesentlich unter dem Wert, den BRÜKER (1980), ANOM. (1977) mit $37,9\text{ N/mm}^2$ bzw. 37 N/mm^2 angeben, übersteigt die von BANKS (1977) für *Pinus radiata* aus Südafrika bei 15jährigem Holz gemessenen $32,7\text{ N/mm}^2$. Andere Herkünfte sind in Tab. 13 beschrieben.

Der Variationskoeffizient beträgt 25,91 %, was bezogen auf die Druckfestigkeit von normalem Holz als hoch anzusprechen ist, allerdings spielt hier die unterschiedliche Jahrringbreite eine gewisse Rolle (TRENDELENBURG und MAYER-WEGELIN, 1955, S. 404 ff).

Die ermittelten Werte müssen als "wahre" Holzeigenschaften für fehlerfreies Holz angesehen werden, auch wenn sie nur geringfügig von den mittleren Festigkeitsangaben, die in Tab. 13 enthalten sind, abweichen.

Im folgenden werden die ermittelten Holzeigenschaften im Zusammenhang mit der Rohdichte mit Hilfe der Regressionsanalyse untersucht.

In Fig. 12 sind die Zusammenhänge zwischen Rohdichte und Biegefestigkeit dargestellt. Die große Streuung der Biegefestigkeit im Verhältnis zur Rohdichte läßt keine enge Beziehung erwarten, trotzdem errechnet sich mit dem Wert $R^2 = 0,55$ eine gesicherte Korrelation zwischen beiden Parametern.

Die Schwankungen der Festigkeiten werden verursacht durch die Schwankungen der Rohdichte und "individuelle" Schwankungen, die durch den anatomischen Aufbau des Holzes hervorgerufen sein können. Da diese individuellen Unterschiede beim Holz der wenig homogenen *Pinus radiata* groß sind, läßt sich das von BRÜKER (1980) gefundene Bestimmtheitsmaß für die Abhängigkeit von Biegefestigkeit und Rohdichte von im besten Falle nur $R^2 = 0,32$ erklären.

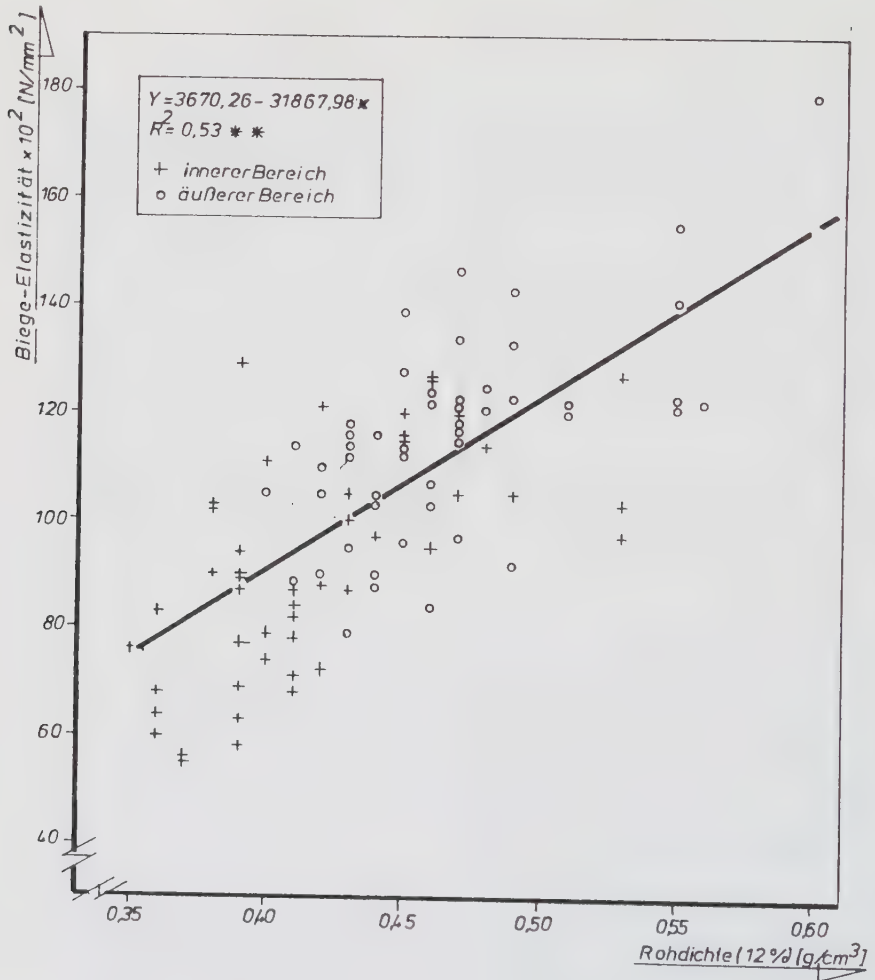


Fig. 13: Zusammenhänge zwischen der Rohdichte (12 %) und dem Biege-Elastizitätsmodul für *Pinus radiata* aus Chile

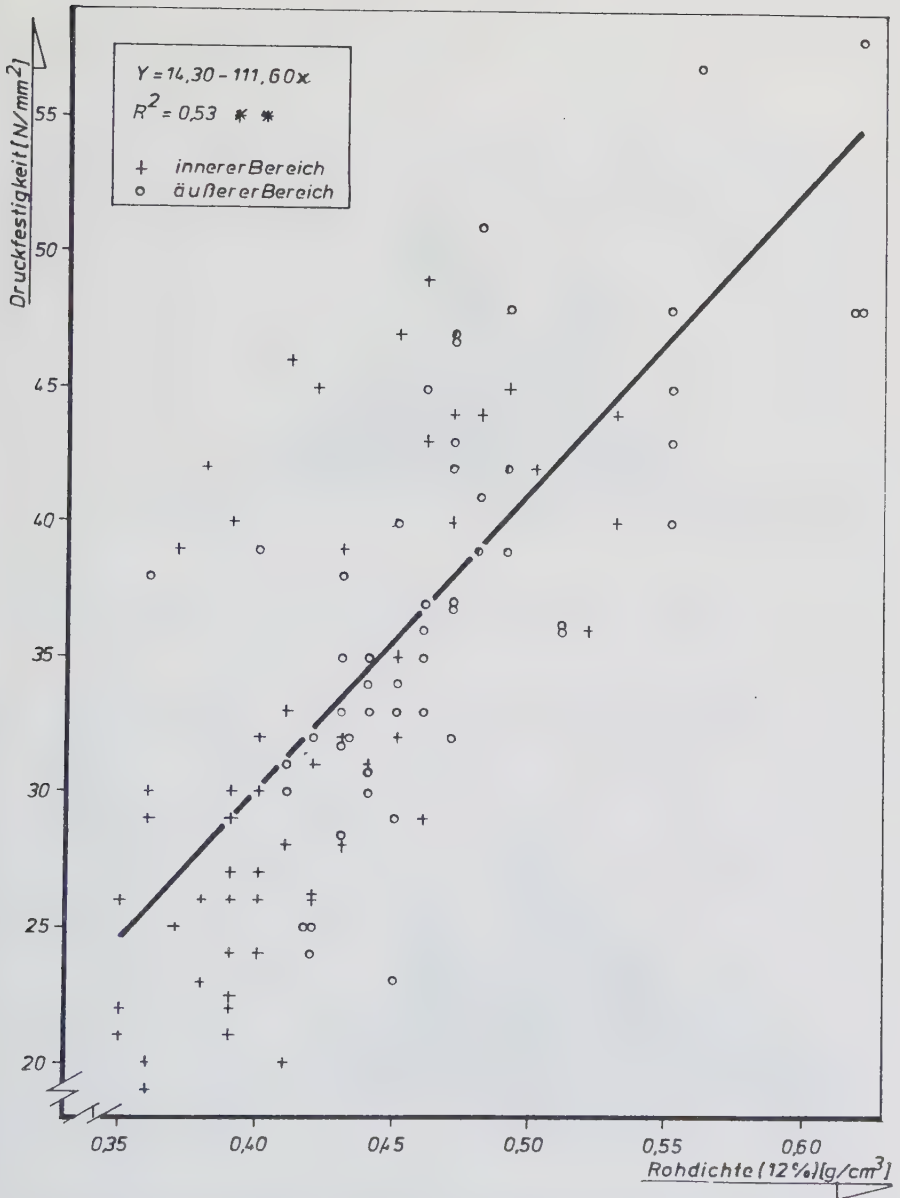


Fig. 14: Zusammenhänge zwischen Rohdichte (12 %) und Druckfestigkeit für Pinus radiata aus Chile

Die Häufigkeitsverteilungen sind, ebenfalls für beide Bereiche, in Fig. 15 wiedergegeben. Da die Anzahl der Proben mit $n = 52$ verhältnismäßig gering ist, kann vermutet werden, daß eine Normalverteilung zugrundeliegt.

Die Spannweite bezüglich der Häufigkeitsverteilung beträgt beim inneren Bereich 70 N/mm^2 , beim äußeren Bereich 100 N/mm^2 . Die Differenz zwischen dem Maß der Biegefestigkeit des inneren und äußeren Bereichs ist mit 95 bzw. 99 % Wahrscheinlichkeit gesichert (vgl. Tab. 14). Die Variationskoeffizienten für die Biegefestigkeit liegen in der vorliegenden Untersuchung über den Werten, die in der Literatur gefunden werden.

Tab. 14: Varianzanalyse für die Biegefestigkeit von Holzproben von *Pinus radiata* - Vergleich von innerem ($r \leq 25 \text{ cm}$) und äußerem Bereich der Stammscheiben

	Freiheitsgrad	Summe der Quadrate	Durchschnittsquadrate	F
Zwischen den Gruppen	1	4672,04	4672,04	14,84
Innerhalb der Gruppen	102	32107,59	314,78	
Insgesamt	103	36779,64		

$$F_{0.05.1.102} = 3,94 < 14,84^x$$

$$F_{0.01.1.102} = 6,90 < 14,84^{xx}$$

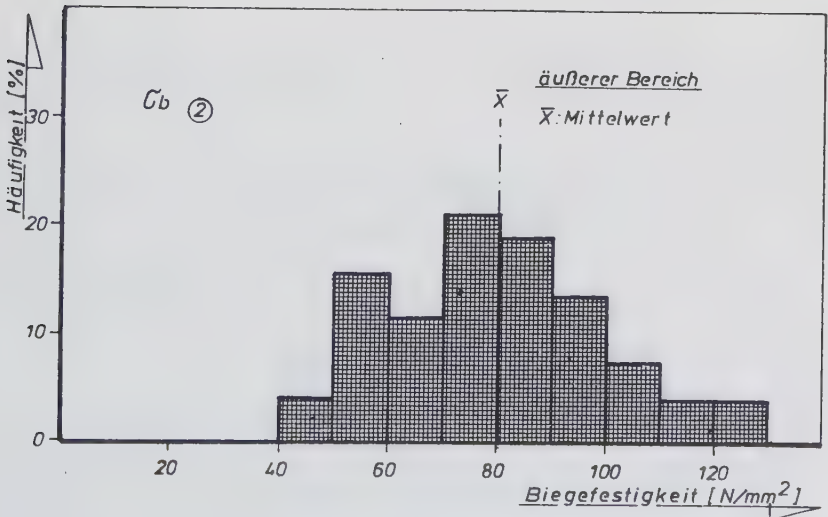
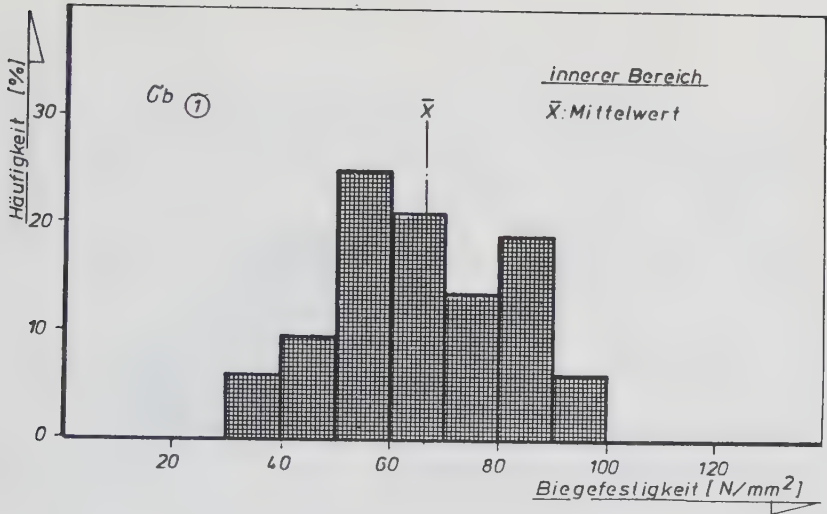


Fig. 15: Relative Häufigkeitsverteilung der Biegefestigkeit von Proben aus dem inneren ($r \leq 25$ cm) und äußeren Bereich der Stammscheibe (*Pinus radiata*)

Da der Bruchwert von Holzproben nicht nur von der Festigkeit abhängt muß zusätzlich die Streuung der Holzstruktur als Einflußfaktor eingeführt werden. Da diese in der Untersuchung nicht getrennt beschrieben wurde, muß man sich damit begnügen, daß nur ein gewisser Prozentanteil der Festigkeitsstreuung durch die variable Rohdichte bedingt ist.

Das Biege-Elastizitätsmodul des äußeren und inneren Querschnittsbereiches ist in Tab. 12 dargestellt. Das mittlere Biege-Elastizitätsmodul beträgt 9016 N/mm^2 bzw. $11\,929 \text{ N/mm}^2$ und liegt knapp unter dem durchschnittlichen Elastizitätsmodul des gesamten Stammquerschnitts mit $11\,026 \text{ N/mm}^2$. Der Variationskoeffizient beläuft sich auf 23,94 % und 24,32 % für den inneren und äußeren Bereich.

Die Häufigkeitsverteilung für beide Bereiche kann Fig. 16 entnommen werden. Auch hier ist die Häufigkeitsverteilung für den äußeren Bereich einer Normalverteilungskurve besser angenähert als beim inneren Bereich. Die Streuung des inneren Bereichs liegt bei $8\,000 \text{ N/mm}^2$, diejenige des äußeren bei $11\,000 \text{ N/mm}^2$. Der Unterschied zwischen dem Biege-Elastizitätsmodul des inneren und äußeren Holzes ist mit 95 % bzw. 99 %iger Sicherheit nachgewiesen (Tab. 15). Die gefundenen Variationskoeffizienten des Biege-Elastizitätsmoduls stimmen mit den Werten, die in der Literatur gefunden werden, gut überein.

Die Ergebnisse der Druckfestigkeitsuntersuchung sind in Tab. 12 zusammengestellt. Die Mittelwerte betragen für den inneren und äußeren Bereich $32,27 \text{ N/mm}^2$ bzw. $38,19 \text{ N/mm}^2$. Diese Ergebnisse stimmen mit BANKS (1977) überein, der einen Wert von $32,70 \text{ N/mm}^2$

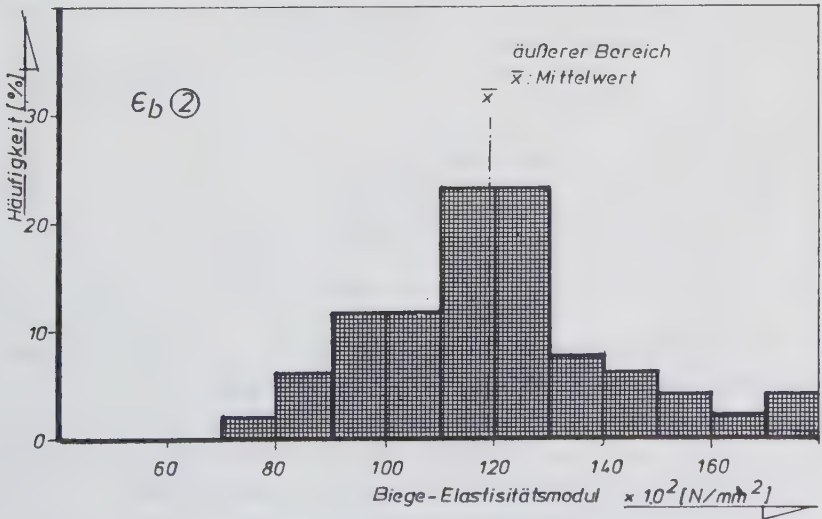
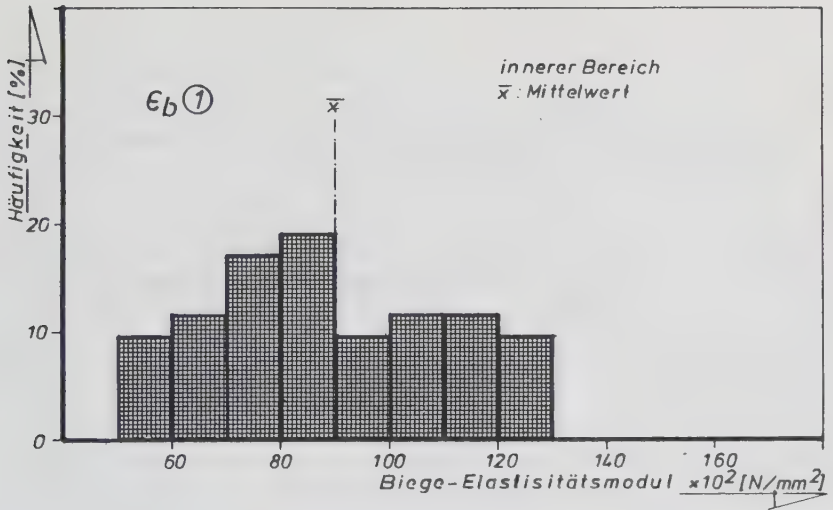


Fig. 16: Häufigkeitsverteilung der Biege-Elastizitätsmodule von Holz aus innerem und äußerem Bereich
(Oben: innerer Bereich; unten: äußerer Bereich)

Tab. 15: Varianzanalyse für Biege-Elastizitätsmodul von innerem und äußerem Bereich

	Freiheits- grad	Summe der Quadrate	Durchschnitts- quadrate	F
Zwischen den Gruppen	1	220709280	220709280	47,25
Innerhalb der Gruppen	102	476485880	4671430	
Insgesamt	103	697195160		

$$F_{05.1.102} = 3,94 < 47,25^x$$

$$F_{01.1.102} = 6,90 < 47,25^{xx}$$

für 15 Jahre altes Holz und $37,00 \text{ N/mm}^2$ für 34 Jahre altes Holz angibt. Die gefundenen größten Druckfestigkeitswerte liegen nicht über denen von LANGLANDS (1938) mit $39,00 \text{ N/mm}^2$, ermittelt an australischer *Pinus radiata*, aber über denjenigen von BRÖKER (1980) mit $37,90 \text{ N/mm}^2$, ermittelt an chilenischer *Pinus radiata*, aber unter dem Wert von DITSCHBURNE (1975) mit $52,00 \text{ N/mm}^2$ bei australischen Herkünften (Tab. 13).

Der Variationskoeffizient beträgt 26,71 % bzw. 22,41 % beim inneren und äußeren Bereich. Diese beiden Werte liegen im Vergleich zu den Literaturangaben verhältnismäßig hoch. Hier spielen die Jahrringbreite und damit der Spätholzanteil und die Rohdichte eine gewisse Rolle (TRENDELENBURG und MAYER-WEGELIN, 1955, S. 409 f; KOLLMANN, 1951, S. 447 f). Das dichtere Spätholz ist nicht nur schwerer, sondern auch druckfester als das lockere Frühholz. Dies bedingt die verschiedenartige Druckfestigkeit. Grundsätzlich können Rohdichte und Spätholzanteil als brauchbare Weiser für die Beurteilung der Druckfestigkeit gelten.

Die Häufigkeitsverteilung der Druckfestigkeitswerte ist für beide Bereiche in Fig. 17 wiedergegeben. Auch hier nähert sich die Häufigkeitsverteilung beim äußeren Bereich eher einer Normalverteilungskurve als beim inneren Bereich. Der Unterschied zwischen der Druckfestigkeit der beiden Zonen ist, nachgewiesen anhand einer Varianzanalyse, statistisch gesichert (Tab. 16).

Tab. 16: Varianzanalyse für die Druckfestigkeit des inneren und äußeren Bereichs der Stammscheiben von *Pinus radiata*

	Freiheits- grad	Summe der Quadrate	Durchschnitts- quadrate	F
Zwischen den Gruppen	1	911,21	911,21	12,35
Innerhalb der Gruppen	102	7523,35	73,76	
Insgesamt	103	8434,55		

$$F_{0.05.1.102} = 3,94 < 12,35^x$$

$$F_{0.01.1.102} = 6,90 < 12,35^{xx}$$

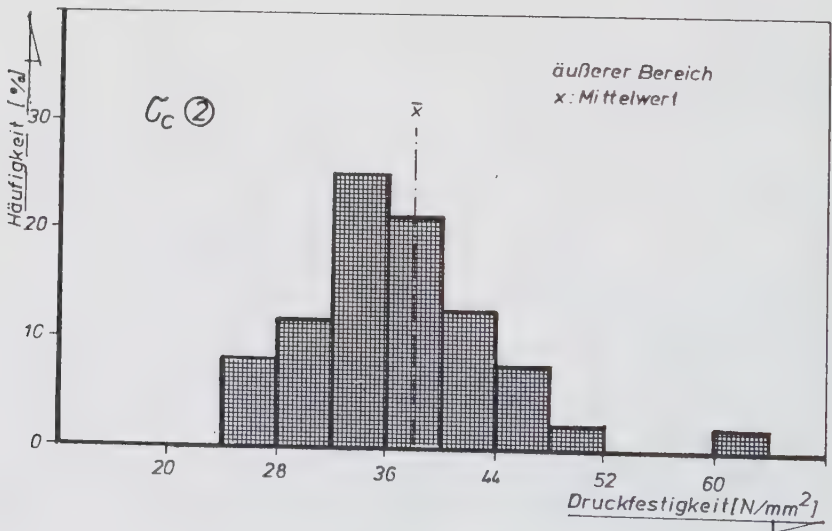
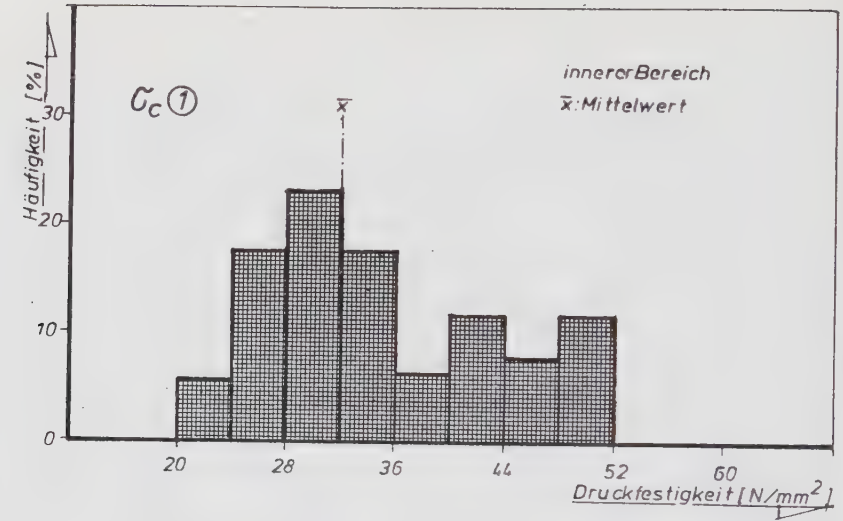


Fig. 17: Häufigkeitsverteilung der Druckfestigkeit von Holz aus innerem und äußerem Bereich (oben: innerer Bereich; unten: äußerer Bereich)

Ergänzend wurde die Beziehung zwischen Biegefestigkeit und Biege-Elastizitätsmodul untersucht. Auch hier wirken sich die großen Streuungen der Qualitätseigenschaften in der Form aus, daß das Bestimmtheitsmaß mit $R^2 = 0,57$ relativ niedrig liegt, allerdings für 95 und 99 % Wahrscheinlichkeit gesichert ist (vgl. Fig. 17a).

3.3.3 Die physikalischen und mechanischen Holzeigenschaften von *Pinus radiata* im Vergleich zu europäischen Nadelbäumen

Ergänzend zu den in der vorliegenden Untersuchung gefundenen Holzeigenschaften der in Plantagen angebauten Baumart *Pinus radiata* erscheint auch ein Vergleich mit charakteristischen Holzeigenschaften europäischer Baumarten von Interesse, wenn Aussagen über die Eignung als Bauholz getroffen werden sollen.

In Tab. 16a sind einige aus der Literatur zusammengetragene Werte für *Pinus sylvestris*, *Picea abies* und *Abies alba* den gefundenen Werten von *Pinus radiata* gegenübergestellt.

Der im Versuch gemessene Durchschnittswert der Rohdichte bei 12 % Feuchtigkeit von *Pinus radiata* liegt bei $0,45 \text{ g/cm}^3$ und damit unter demjenigen für *Pinus sylvestris* mit $R_{(12 \%)} = 0,52 \text{ g/cm}^3$, ebenso wie unter demjenigen von *Picea abies* und *Abies alba* (beide mit $R_{(12 \%)} = 0,47 \text{ g/cm}^3$). Die Differenz muß als verhältnismäßig geringfügig angesprochen werden.

Der mittlere Wert der Biegefestigkeit, der, wie erwähnt bei *Pinus radiata* zwischen innerem und äußerem Bereich erheblich schwankt und dessen Streuung sich teilweise auf die wechselnde Rohdichte zurückführen läßt (HARRIS, J. M., 1965), beträgt

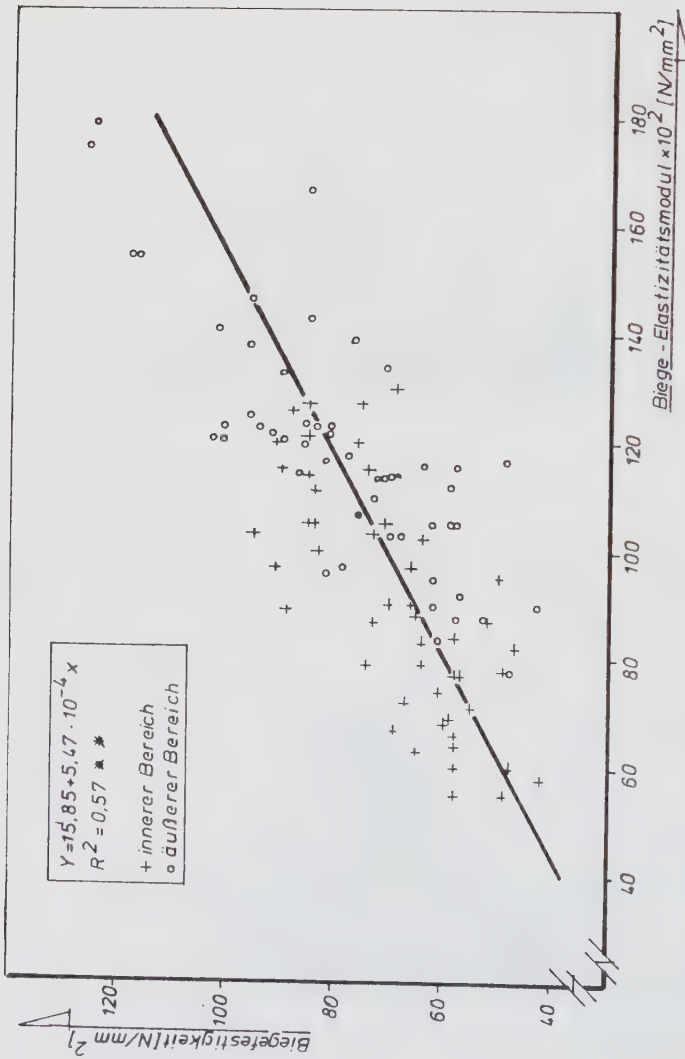


Fig. 17a: Zusammenhänge zwischen Biege-Elastizitätsmodul und Biegefestigkeit für Pinus radiata aus Chile

Tab. 16a: Holzeigenschaften von Pinus radiata aus Chile im Vergleich zu mitteleuropäischen Nadelholzarten

	Rohdichte ($\gamma_{12\%}$) g/cm^3	Biege- festigkeit N/mm^2	Biege-Elasti- zitätsmodul N/mm^2	Druck- festigkeit N/mm^2	Schwindmaß (in %)		
					Bt	Br	Bl
Pinus silvestris (Kiefer)	0,52 ¹⁾ (CV = 12,8)	80,0 ¹⁾ (CV = 19,0)	11000 ¹⁾ (CV = 21,3)	45,0 ¹⁾ (CV = 19,5)	8,1 ²⁾	4,0 ²⁾	0,4 ²⁾
Picea abies (Fichte)	0,47 ¹⁾ (CV = 7,9)	68,0 ¹⁾ (CV = 14,2)	10000 ¹⁾ (CV = 19,7)	40,0 ¹⁾ (CV = 14,4)	7,9 ²⁾	3,7 ²⁾	0,2 ²⁾
Abies alba (Tanne)	0,47 ¹⁾ (CV = 11,8)	68,0 ¹⁾ (CV = 12,7)	10000 ¹⁾ (CV = 13,6)	40,0 ¹⁾ (CV = 12,2)	7,5 ³⁾	3,8 ³⁾	0,1 ³⁾
Pinus radiata aus Chile	0,45 (CV = 13,3)	74,8 (CV = 26,4)	11000 (CV = 21,8)	35,0 (CV = 25,9)	1. 5,28 2. 6,45	1. 2,61 2. 3,27	1. 0,50 2. 0,50

1) nach BRÜCKER (1980)

2) nach KNIGGE/SCHULZ (1965)

3) nach KÖNIG (1959)

1. innerer Bereich

2. äußerer Bereich

CV = Variationskoeffizient

74,8 N/mm², die Werte für *Pinus sylvestris* liegen bei 80,0 N/mm², für *Picea abies* und *Abies alba* bei 68,0 N/mm². Der Festigkeitswert des geprüften *Pinus radiata*-Materials liegt demnach günstiger als bei *Picea abies* und *Abies alba*. Da aber die Streuung des Mittelwertes mit CV = 26,45 % erheblich über derjenigen der europäischen Nadelbaumarten liegt, muß der Mittelwert im Hinblick auf eine verwendungsorientierte Beurteilung vorsichtig beurteilt werden.

Beim Biege-Elastizitätsmodul beträgt der Unterschied zwischen dem Holz aus dem inneren und dem äußeren Bereich sogar 32,3 %. Spätholzanteil und Jahrringbreite sind vermutlich die Ursache für diese relativ große Differenz, bedingen sie doch eine gewisse Inhomogenität im Querschnitt (KOLLMANN, 1951). Der mittlere Durchschnittswert für das Biege-Elastizitätsmodul beträgt 11 000 N/mm²; dieser Wert stimmt gut mit demjenigen bei *Pinus sylvestris* überein.

Bei der Druckfestigkeit beträgt der Unterschied zwischen äußerem und innerem Bereich 18,3 %. Auch hier kann die Differenz aus der Streuung der Rohdichte und dem Spätholzanteil teilweise als Erklärung dienen (TRENDELEBURG und MAYER-WEGELIN, 1955). Der Durchschnittswert beträgt 35,0 N/mm². Er liegt unter demjenigen für mitteleuropäische Nadelbaumarten wie *Pinus sylvestris* mit 45,0 N/mm², *Picea abies* und *Abies alba* mit 40,0 N/mm². Auch ist die Streuung um den Mittelwert mit CV = 25,9 % größer als bei konkurrierenden mitteleuropäischen Nadelbaumarten.

Die Schwindmaßwerte sind bei *Pinus radiata* im Vergleich zu *Pinus sylvestris*, *Picea abies* und *Abies alba* sehr günstig. Zwar ist auch hier der Unterschied zwischen innerem und äußerem Bereich verhältnismäßig groß, er beträgt für das tangential Schwindmaß 22,1 %, für das radiale Schwindmaß sogar 25,3 %, was

insofern nicht erwartet wurde als das tangentielle Schwindmaß in der Regel über dem radialen Schwindmaß liegt. Eine Erklärung hierfür bleibt offen, sie ist teilweise sicher darin zu suchen, daß die Rohdichte im äußeren Bereich größer als im inneren ist. Für das longitudinale Schwindmaß wurde im übrigen kein Unterschied nachgewiesen.

Generell könnte man den Schluß ziehen, daß das Holz von *Pinus radiata* im Hinblick auf die Verwendung im Bauwesen im Vergleich zu mitteleuropäischen Baumarten im Durchschnitt eine durchaus befriedigende Festigkeit aufweist. Zu berücksichtigen ist aber, daß die Streuung um die Mittelwerte wesentlich größer ist, als bei mitteleuropäischen Baumarten (KNIGGE/LEWARK, 1976).

Bezüglich der Einflüsse auf die Festigkeitseigenschaften läßt sich auf der Basis dieser Arbeit folgendes ableiten:

Sie werden deutlich durch die Rohdichte bestimmt, in Abhängigkeit von der Lage auf dem Stammquerschnitt. Die Rohdichte wiederum stellt sich in Abhängigkeit von der Jahrringbreite dar. Obwohl eine Quantifizierung des Einflusses dieses Parameters auf die Festigkeitseigenschaften nicht direkt möglich war, läßt die Auswertung des Gesamtmaterials doch eine Tendenz erkennen: Offensichtlich nimmt die Festigkeit bei zunehmender Breite der Jahrringe ab und umgekehrt.

3.4 Biegefestigkeit und zulässige Spannung

Bei der Einwirkung einer Kraft auf einen Körper versucht sich dieser in Richtung der Kraft fortzubewegen. Ist der Körper zwischen zwei feste Punkte eingespannt, versetzt die einwirkende Kraft diesen in einen Spannungszustand. Als Folge der Spannung kann der Körper seine Form verändern. Das Maß der Formveränderung richtet sich nach dem Verhältnis zwischen der einwirkenden Kraft und dem inneren Widerstand des Körpers.

Bei Bauwerken müssen sowohl die Gesamtkonstruktion wie auch die Querschnittsfläche aller Einzelteile genügend stark sein, um die Belastung durch das Eigengewicht und die Nutzlast, aber auch durch den zusätzlichen Druck, den z. B. Wind oder Schneelast ausüben können, mit Sicherheit aufnehmen können. Der Nachweis dieser Sicherheit ist die Aufgabe der Statik, die hierfür objektive Beurteilungskriterien in Form von Standsicherheits- und Formveränderungsnachweisen benötigt, um die detaillierten Berechnungs- und Ausführungsvorschriften für Holzbauwerte erfüllen zu können. Das wichtigste Beurteilungskriterium ist die zulässige Spannung in bezug auf die Biegefestigkeit. Die Festlegung dieser zulässigen Spannung bereitet insofern große Schwierigkeiten, als nur in wenigen Ländern Richtlinien für deren Festlegung bestehen. Dazu gehört im übrigen die DIN-Vorschrift 1052.

Eine wichtige Kenngröße ist weiter das Biege-Elastizitätsmodul, denn in vielen Fällen erfolgt die Dimensionierung von Bauteilen nach der maximal zulässigen Verformung, unabhängig davon daß die tatsächlich ausgeübte Spannung zum Teil wesentlich unter der erlaubten zulässigen Spannung liegt.

NOACK (1971) formulierte grundsätzliche Überlegungen zu der Frage der Berechnungsbasis der zulässigen Spannung. Diese grundsätzlichen Überlegungen werden in dieser Arbeit verwendet und zur Herleitung bzw. Prüfung entsprechender Werte für die untersuchte Plantagenbaumart *Pinus radiata* benutzt.

Da für die Berechnung der zulässigen Spannung einer bestimmten Holzart die Angabe des Mittelwertes der Biegefestigkeit nicht ausreicht, muß darüber hinaus auch das Maß der Streuung der Eigenschaften, also die Standardabweichung bzw. der Variationskoeffizient, bekannt sein. Man benötigt den einseitigen unteren Schrankenwert, normalerweise benutzt man hier den Mittelwert der 5 %-Fraktion, d. h. der 5 % geringsten Werte. Da der Schrankenwert der 5 %-Fraktion einer Normalverteilung eindeutig durch die Beziehung

$$5 \% \mathcal{T}_{B+} = \mathcal{T}_{\bar{B}} - t_{95} \cdot s = \mathcal{T}_{\bar{B}} \cdot (1 - t_{95} \cdot CV) \quad (1)$$

definiert wird, ergibt sich nach NOACK (1971) somit unter der Annahme eines durchschnittlichen Variationskoeffizienten von $CV = 16 \%$ für alle Holzarten für die zulässige Biegefestigkeit:

$$5 \% \mathcal{T}_{B+} = \mathcal{T}_{\bar{B}} (1 - 1,64 \cdot 0,16) = 0,74 \cdot \mathcal{T}_{\bar{B}} \quad (2)$$

d. h. daß die 5 %-Fraktion bei rund 74 % der mittleren Biegefestigkeit liegt. Wie die Ergebnisse unserer Messungen zeigen, ist aber bei einer schnellwüchsigen Plantagenbaumart wie *Pinus radiata* der durchschnittliche Variationskoeffizient für alle Holzarten, wie ihn NOACK mit 16 % angibt, zu gering und würde zu fehlerhaften Resultaten führen. Wird der hier ermittelte Varia-

tionskoeffizient für Biegefestigkeit von ca. $CV = 26\%$ unterstellt, ergibt sich:

$$5\% \mathcal{T}_B^+ = \mathcal{T}_{\bar{B}} (1 - 1,64 \cdot 0,26) = 0,57 \mathcal{T}_{\bar{B}} \quad (3)$$

Gegenüber Gleichung (2) führt die Berücksichtigung eines erhöhten Variationskoeffizienten also zu einem deutlich niedrigeren Schrankenwert.

Als weiterer Faktor ist die Genauigkeit der Ermittlung der mittleren Biegefestigkeit des Holzes zu berücksichtigen, d. h. der Mittelwert ist mit einem gewissen Fehlerrahmen $\pm m \mathcal{T}_{\bar{B}}$ behaftet. Nach NOACK (1971) beträgt der Genauigkeitsbereich des Mittelwertes $\pm m \mathcal{T}_{\bar{B}} = \pm 5\%$ für die bereits eingehend untersuchten Holzarten. Bei dem vorliegenden begrenzten Stichprobenumfang kann man davon ausgehen, daß dieser Genauigkeitsbereich des Mittelwertes von $\pm 5\%$ auch für *Pinus radiata* gilt. Durch Berücksichtigung des unteren Fehlerrahmens verschiebt sich der tatsächliche Schrankenwert der 5 %-Fraktion weiter nach unten:

$$5\% \mathcal{T}_B^+ = \mathcal{T}_{\bar{B}} (1 - m \mathcal{T}_{\bar{B}} - t_{95} \cdot CV) \quad (4)$$

Für das obige Beispiel Biegefestigkeit bei *Pinus radiata* erhält man nun folgende Beziehung:

$$5\% \mathcal{T}_B^+ = \mathcal{T}_{\bar{B}} (1 - 0,05 - 1,64 \cdot 0,26) = 0,52 \mathcal{T}_{\bar{B}} \quad (5)$$

Aus der Gleichung (5) geht also hervor, daß die 5 %-Fraktion der Biegefestigkeit von kleinen, fehlerfreien Holzproben unter Berücksichtigung der Ungenauigkeiten der Mittelwertbestimmung bei etwa 50 % der gemessenen mittleren Biegefestigkeit des Holzes liegt.

Beim Übergang von fehlerfreien, kleinen Proben zu Bauteilen können aus den bisher vorliegenden Untersuchungsergebnissen weitere materialbedingte festigkeitsmindernde Wirkungen abgeschätzt werden: Die mechanischen Eigenschaften von größeren Holzbauteilen sind abhängig von der Qualität des Holzes, von der Dauer und Häufigkeit der Belastung, von der Temperatur und dem Feuchtigkeitsgehalt. Als weitere festigkeitsändernde materialbedingte Einflüsse können daher genannt werden:

- die Güteklasse des Holzes einschließlich der Übertragung der Festigkeitseigenschaften kleiner Normproben auf Bauteile mit Originalabmessungen
- die Dauer der Belastung
- der Feuchtigkeitsgehalt des Holzes.

Diese Einflußgrößen können sich bei allen Holzarten in etwa gleicher Weise auswirken. Durch Multiplikation der Einzelfaktoren erhält man einen Gesamt-Abminderungsfaktor F:

$$F = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \quad (6)$$

Bauholz wird üblicherweise in Güteklassen sortiert. Man kann also das Gesamtkollektiv Bauholz in Teilkollektive der Güteklassen I, II und III entsprechend der DIN-Norm 4074 aufgliedern. Die f_1 -Werte sind je nach Güteklasse und Belastungsart unterschiedlich groß. Analog zu nordamerikanischen und britischen Regeln können für das zu sortierende Holz nach DIN-Norm 4074 folgende Faktoren festgelegt werden: $I f_1 = 0,75$, $II f_1 = 0,60$, $III f_1 = 0,40$.

Weiter muß berücksichtigt werden, daß die Festigkeiten des Holzes im Kurzzeitversuch ermittelt werden. Es muß also ein Zeitfaktor berücksichtigt werden, der die Festigkeit bei Langzeitbelastung reduziert. Anhand bisheriger Untersuchungen über die Abhängigkeit der Festigkeit des Holzes von der Dauer der zeitlichen Belastung liegt die Bruchfestigkeit bei sehr langer Dauerbelastung (über Jahrzehnte hinweg) zwischen 50 und 60 % der Kurzzeitfestigkeit, so daß ein Zeitfaktor von $f_2 = 0,56$ zu empfehlen ist, der in der gleichen Weise auch in USA und Australien zur Anwendung gelangt.

Berücksichtigt man dann noch zusätzlich, daß die Holzprüfungen an klimatisierten Proben ausgeführt werden, deren Feuchtigkeitsgehalt bei etwa 12 bis 15 % liegt, muß für Bauholz ein etwas höherer Feuchtigkeitsgehalt zwischen 15 und 18 % in die Überlegung einbezogen werden. Da die Festigkeit des Holzes in diesem Bereich mit zunehmender Feuchtigkeit abnimmt, muß der Einfluß der höheren Feuchtigkeit durch einen Faktor f_3 korrigiert werden. Bezogen auf die Biegefestigkeit führt dies zu einem Faktor von $f_3 = 0,90$.

Diese werkstoffbedingten Einflußgrößen führen also bei der Biegefestigkeit von Bauholz zu einem Gesamt-Abminderungsfaktor, der von der Güteklasse des Holzes abhängt und z. B. bei Güteklasse I nach DIN 4074 betragen würde:

$$F = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 = 0,75 \cdot 0,56 \cdot 0,90 = 0,38 \quad (7)$$

so daß der ursprüngliche Schrankenwert der 5 % Fraktion auf eine Bezugsspannung des Holzes von

$$I \tau_B = F \cdot \tau_B^+ = 0,38 \cdot 0,54 \tau_B^- = 0,21 \tau_B^- \quad (8)$$

reduziert wird, d. h. die Bezugsspannung des Holzes $I \mathfrak{T}_B^+$ beträgt bei praktischer Biegebeanspruchung des Holzes nur rund 1/5 der mittleren Biegefestigkeit des Holzes von *Pinus radiata*, bestimmt an kleinen Normproben.

Um bei Verwendung des Holzes im Bauwesen absolut sicher zu gehen, wird zusätzlich ein materialunabhängiger Sicherheitsbeiwert f_v eingeführt, der alle nicht direkt kalkulierbaren und vorhersehbaren Einflüsse berücksichtigen soll. Solche Einflüsse sind die Qualität der Ausführung des Bauwerks, die Richtigkeit der Lastannahme und die Genauigkeit der Berechnung. Außerdem soll z. B. die Größe der Schadensfolgen berücksichtigt werden, z. B. ob eine besondere Gefährdung von Menschen vorliegt oder ob das Bruchereignis größere wirtschaftliche Folgen nach sich ziehen würde. Aus diesen Überlegungen leitet sich entsprechend einem englischen Vorschlag ein zusätzlicher Sicherheitsbeiwert von $f_v = 0,64$ % her.

Die zulässige Biegespannung von Bauholz aus *Pinus radiata* der Güteklasse I (DIN 4074) erhält man demnach aus folgender Beziehung:

$$I \text{ zul } \mathfrak{T}_B = f_v \cdot I \mathfrak{T}_B^+ \quad (9)$$

$$I \text{ zul } \mathfrak{T}_B = 0,64 \cdot 0,21 \cdot \mathfrak{T}_{\bar{B}} = 0,13 \mathfrak{T}_{\bar{B}} \quad (10)$$

Hieraus geht hervor, daß die zulässige Biegespannung für Bauholz von *Pinus radiata* der Güteklasse I nur etwa 13 % der mittleren Biegefestigkeit kleiner fehlerfreier Holzproben betragen darf. Entsprechend leitet sich die zulässige Biegespannung ebenfalls

für *Pinus radiata* der nächstfolgenden Güteklassen II und III, ebenfalls nach DIN Norm 4074 berechnet, wie folgt her:

$$\text{II zul. } \mathcal{T}_B = 0,10 \cdot \mathcal{T}_{\bar{B}} \quad (11)$$

$$\text{III zul. } \mathcal{T}_B = 0,07 \cdot \mathcal{T}_{\bar{B}} \quad (12)$$

4. SCHNITTHOLZQUALITÄT

In Plantagenbetrieben erwächst das Holz unter anderen Bedingungen als in natürlichen Beständen: es weist bei kürzeren Umlaufzeiten ein schnelleres Längen- und Durchmesserwachstum auf. Es sind daher auch einige Unterschiede bei den Schnittholzerzeugnissen zu erwarten.

4.1 Ziel der Untersuchung

Hauptziel dieses Teiles der Arbeit ist, die Festigkeitseigenschaften visuell sortierten Schnittholzes schnellwüchsiger Baumarten zu bestimmen. Mit dieser Untersuchung sollen folgende Fragen beantwortet werden:

- sind die derzeitigen Schnittholzsortierungsvorschriften geeignet für die Sortierung von Schnittholz schnellwüchsiger Baumarten?
- welche der derzeit gebräuchlichen Schnittholzsortierungsvorschriften entspricht am genauesten den Zielen der jeweiligen Norm?

Hierzu wurden Sortierungsvorschriften für die Verwendung von Nadelschnittholz im Bauwesen aus Deutschland und aus Ländern mit langjähriger Praxis und entsprechender Erfahrung mit diesen Schnitthölzern ausgewählt: die australische, südafrikanische und chilenische Norm, sowie die Deutsche Norm DIN 4074 (siehe Fußnote S. 13).

Es muß berücksichtigt werden, daß die Schnittholzqualität von verschiedenen Einflüssen abhängt, wie etwa der Art der Aufteilung des Langholzstammes in Blöcke, der Art der Produkte und deren Anteil am gesamten Schnittholz des Blockes, dem Verhältnis zwischen der für ein bestimmtes Sortiment theoretisch er-

forderlichen und der tatsächlich verwendeten Blockstärke u. a. (LÖFFLER, 1964). Da der Bauholzeinschnitt wenige Schnittstücke pro Stamm liefert, erhält man im Vergleich zum Einschnitt von Brettware einen weniger guten Aufschluß über die innere Struktur des Stammes (LÖFFLER, 1968); es ist also zu berücksichtigen, daß bei der Untersuchung dieses Sortiments gewisse Ungenauigkeiten auftreten können.

4.2 Methodik

Die aus den zur Verfügung stehenden Rundhölzern ausgeformten insgesamt 206 Balken (vgl. Abschnitt 2.4.1) wurden jeweils entsprechend den Bestimmungen der zu vergleichenden Sortier-Normen klassifiziert. Um bei der wiederholten Einstufung subjektive Einflüsse auszuschalten, wurde nach der Klassifizierung nach einer der Normen die erreichte Klasse auf der Stirnfläche der Balken angeschrieben und für jede Norm in einem eigenen Formular vermerkt, welche Mängel für die Einteilung ausschlaggebend waren.

Auf diese Weise ergab sich für jede Norm die Anzahl der Balken pro Klasse sowie Art und Anzahl der hauptsächlich sortierungsrelevanten Mängel.

Um die Effizienz jeder der Sortierregeln zu bestimmen, wurden die Festigkeitswerte, Biegefestigkeit (MOR) und Biege-Elastizitätsmodul (MOE), der Balken klassenweise bestimmt, indem stichprobenweise eine gleiche Anzahl in jeder Klasse geprüft wurde, und zwar in jeder Klasse 20 Balken. Auf diese Weise ergab sich ein Prüfumfang von 94 Balken (Auswahlsatz ca. 50 % aller Balken).

Für die Prüfung der Balken stand eine Holzprüfmaschine vom Typ MFL mit vier Kolben (Maximallast 4 t je Kolben) im OTTO-GRAF-Institut in Stuttgart zur Verfügung.

Vor jedem Test wurden am Balken folgende Meßwerte erhoben:

- Dimensionen des Querschnittes an drei Punkten des Balkens (Mitte und vor den Auflagen),
- Faserabweichung in halber Länge des Balkens,

- Neuklassifizierung des zentralen Teiles zwischen den Lastpunkten des zu prüfenden Balkens gemäß den Vorschriften einer jeden Norm,
- Feuchtigkeitsgehalt, gemessen an drei Punkten des Balkens mit einem elektronischen Gerät.

Nach Abschluß des Testes wurden das Darrgewicht und der Feuchtigkeitsgehalt eines Querschnittes des Balkens bestimmt, der so nahe wie möglich bei der Bruchstelle entnommen wurde. Neben den üblichen Meßwerten eines Biegetestes wurde schematisch der Bruchtyp und der vermutlich hierfür verantwortliche Fehler notiert.

Für die Erhebung dieser Testdaten wurde ein eigenes Formular entwickelt (vgl. Anhang).

Für die Holzbalkenprüfung ist nach DIN 52 186 Zweilastanordnung vorgeschrieben. Nach KOLLMANN (1951) und KOLLMANN und COTE (1968) sind hierfür folgende Gründe maßgebend:

- bei der Zweilastanordnung wird im Biegestab eine Strecke mit gleichmäßigem Biegemoment beansprucht und gleichzeitig schubspannungsfrei gehalten,
- der Bruch findet an der schwächsten Stelle dieser Strecke statt, wodurch ein Zufallsbruch weitgehend ausgeschaltet wird (vgl. Fig. 18).

Das Prüfverfahren erfolgt (nach DIN 52 186) mit einer gleichmäßigen und stoßfreien Belastungssteigerung von 5 N/mm^2 je Minute bis zum Bruch. Eine Vorrichtung am Balken gestattet, auch die Durchbiegung bei den verschiedenen Belastungsstufen abzulesen.

Aus den erhaltenen Werten werden die Biegefestigkeit und das Biegeelastizitätsmodul für die einzelnen Balken berechnet (vgl. Formular im Anhang).

Um die Eignung der verschiedenen Normen zu bestimmen, wurde untersucht, ob die Meßwerte von MOE und MOR zwischen den Klassen jeder Norm statistische Unterschiede aufwiesen. Als statistisches Prüfverfahren hierfür wurden Varianzanalyse und DUNCAN-Test verwendet.

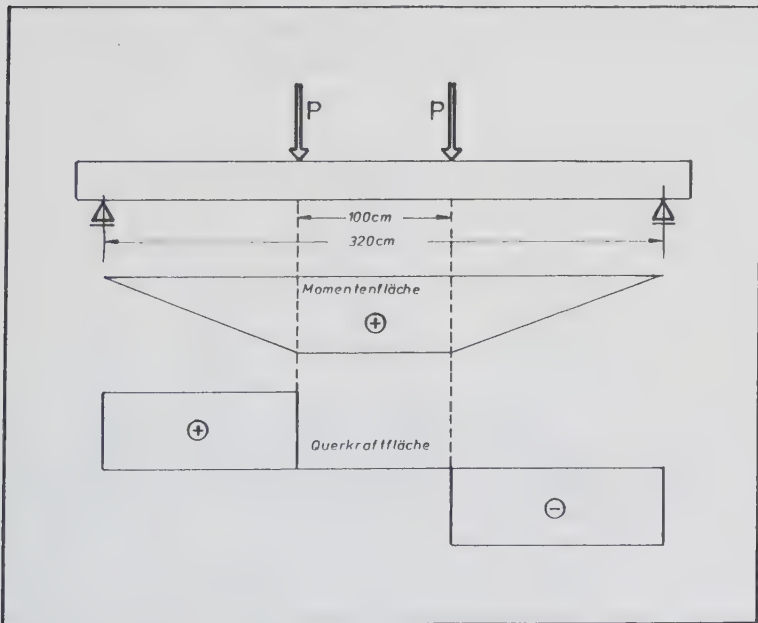


Fig. 18: Zweilastanordnung für die Balkenprüfung mit Moment- und Querkraftverteilung längs des Balkens

Die Interpretation der Ergebnisse der statistischen Tests erlaubt eine Antwort auf die erste Frage dieses Kapitels nach der Eignung vorhandener Sortiervorschriften. Um eine Antwort auf die zweite Fragestellung nach der Genauigkeit zu erlangen, wurde ein Vergleich durchgeführt zwischen der zulässigen Spannung, die nach NOACK (1971) für die fehlerfreien Probestücke berechnet wurde und den Ergebnissen, die die Balken jeder Klasse bei den verschiedenen Normen erreichten.

Die Berechnung der zulässigen Spannung bei fehlerfreien Probekörpern wurde bereits im vorhergehenden Kapitel beschrieben. Für die Berechnung der zulässigen Spannung der Balken wurde vom Relativwert in Prozenten ausgegangen, bezogen auf den von fehlerfreien Probekörpern erreichten Wert.

4.3 Feststellungen zum Gesamtergebnis

Die Ergebnisse der Klassifizierung von Schnitthölzern von *Pinus radiata*, entsprechend den verwendeten Normen, sollen hier auf folgende Weise dargestellt werden:

- Verteilung des Schnittholzes auf die verschiedenen Klassen jeder Norm, Analyse der Gründe für diese Einteilung, d. h. eine Darstellung der vorrangigen Fehler und ihres prozentualen Anteiles. Auf diese Weise wird ein Überblick gewonnen über die Strenge der Klassifizierung der verschiedenen Normen, sowie über die in den einzelnen Normen besonders gewichtigen Fehler.
- Die Präzision jeder Norm wird untersucht aufgrund der Ergebnisse der mechanischen Tests mit Balken aus jeder Klasse einer jeden Norm und im Vergleich mit der nach NOACK (1971) berechneten zulässigen Spannung.

4.3.1 Ergebnisse der visuellen Schnittholzklassifizierung

Die Verteilung des Schnittholzes in jeder Norm ist in Fig. 19 dargestellt. Für jede Norm ersieht man die errechnete relative Häufigkeit in jeder Klasse sowie die Häufigkeit der in jeder Norm auch für die niedrigste Klasse zurückgewiesenen Balken (R).

In Tab. 17 sind die häufigsten Fehler zu finden, sowie ihr prozentualer Anteil an der Klassifizierung für die Güteklasse einer jeden Norm. Für jede Güteklasse ist auch der Prozentsatz von akzeptierten und zurückgewiesenen Balken im Verhältnis zur Gesamtzahl angegeben sowie neben der mittleren Anzahl von Fehlern pro Balken auch die Zahl der in jeder Güteklasse festgestellten Fehler. Bei der Klassifizierung nach der Norm DIN 4074, die drei

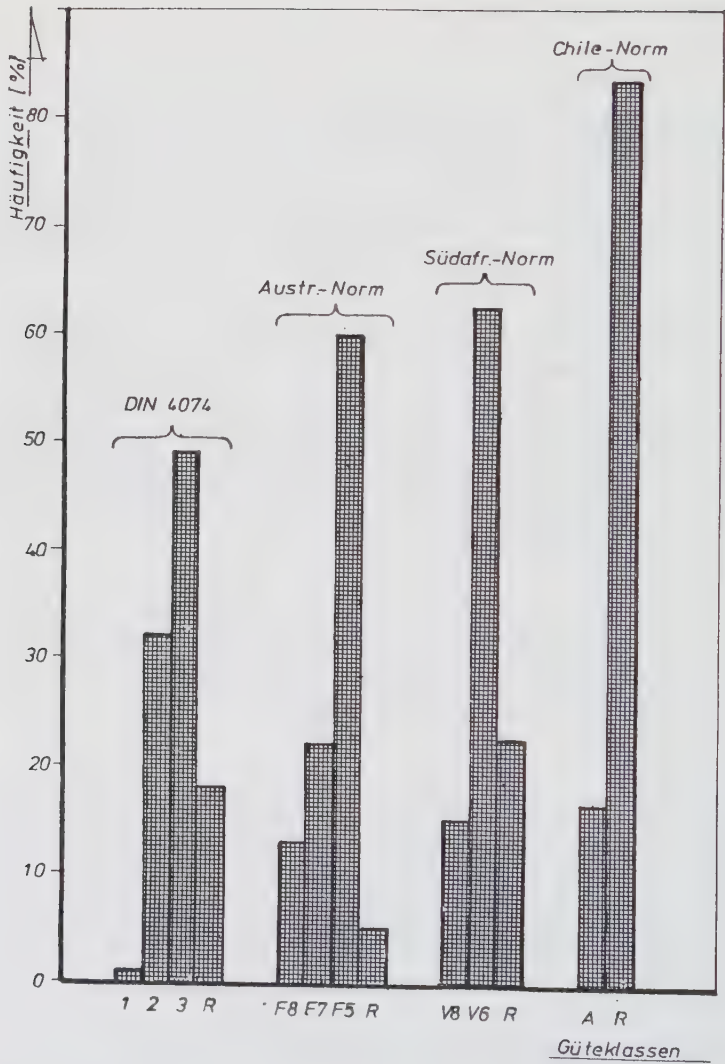


Fig. 19: Prozentualer Anteil der Güteklassen des Schnittholzes von *Pinus radiata* nach unterschiedlicher Schnittholzsortierung (R = Mindestanforderung nicht erreicht)

Tab. 17: Ergebnisse der visuellen Schnittholzsortierung nach den verschiedenen Sortier-Normen im Vergleich

	Australische Norm					DIN - 4074							Südafrikanische Norm			Chilenische Norm				
	F 11 Quan- tität	F 8 Quan- tität	F 7 Quan- tität	F 5 Quan- tität		1. Quan- tität	2. Quan- tität	3. Quan- tität	V 8 Quan- tität	V 6 Quan- tität	A Quan- tität	V Quan- tität	A Quan- tität							
Fehlerfreie Rust	0 206	0 100	27 179	13,1 86,9	21,8 65,0	2 10	66 39,0	101 67,0	49,0 18,0	31 175	15,0 84,9	129 46	62,6 22,3	34 172	16,5 83,5					
Aspe	184	39,1	145	17,8	44	45,8	1	5,3	167	43,1	94	61,4	21	45,0	18	7,5	134	46,8		
Faserabweichung	42	8,9	28	7,3	12	12,5	--	--	28	7,2	24	15,7	10	21,7	20	8,4	20	20,4		
Maßhaltigkeit	7	1,5	7	1,8	7	7,3	7	36,8	9	2,3	7	4,6	7	15,2	12	5,0	12	12,2		
Krümmung	41	8,7	20	5,2	10	10,4	2	10,5	32	8,3	10	6,5	6	13,0	--	--	15	5,2		
"Twist"	25	5,3	21	5,5	21	21,9	7	36,8	11	11	11	11	11	11	14	5,9	14	14,3		
Jahresbreite	62	13,2	62	16,2	--	--	--	--	77	19,9	11	11	11	11	169	70,7	28	28,6		
Mindesteichte	63	17,7	63	21,7	--	--	--	--	47	12,1	11	11	11	11	2	0,8	2	2,0		
Risse	12	2,5	12	3,1	--	--	--	--	16	4,1	9	5,9	--	--	4	1,7	4	4,1		
Andere	14	3,0	5	1,3	2	2,1	2	10,5	11	2,8	9	5,9	2	4,3	4	1,7	4	4,1		
Insgesamt	470	100	383	100	96	100	19	100	387	100	153	100	46	100	239	100	98	100		
Fehler pro Baiken	2,28	/	2,14	/	0,72	/	1,90	/	1,90	/	1,11	/	1,24	/	1,37	/	2,13	/	1,66	/

1) keine Anforderung

Güteklassen vorsieht, wurde nur 1 % der Balken in Güteklasse I eingestuft, 32 % in Güteklasse II und 49 % in Güteklasse III; 18 % der Balken wurden zurückgewiesen weil sie nicht die Mindestanforderungen der letzten Klasse erfüllten. Es muß hervorgehoben werden, daß diese Norm nicht für die visuelle Klassifizierung von Schnittholz aus schnellwüchsigen Beständen entwickelt wurde.

In Güteklasse I waren dabei die Äste mit einem Anteil von 43 % aller angetroffenen Fehler an erster Stelle verantwortlich für die Zurückweisung; es folgten die Jahrringbreite mit 20 % und die Minstdichte mit 12 %. Es wurde festgestellt, daß die in diese Güteklasse sortierten Balken im Durchschnitt 1,9 Fehler aufwiesen. Da für die weiteren Güteklassen die Fehler Jahrringbreite und Minstdichte nicht mehr berücksichtigt werden brauchten, stieg in Güteklasse II der Anteil der Äste an der Gesamtzahl der Fehler auf 61,4 %, die Faserabweichung trug mit 15,7 % zur Nichteinstufung in diese Klasse bei. Diese Klasse kann im Verhältnis zu den übrigen Klassen als die wenigst anspruchsvolle betrachtet werden, denn ihre Anforderungen führten zur kleinsten mittleren Zahl von Fehlern je Balken, nämlich 1,11.

Von Güteklasse III wurden 18,0 % der Gesamtzahl der Balken zurückgewiesen mit einer mittleren Anzahl von 1,24 Fehlern pro Balken. Bezüglich der Strenge der Auswahl kann festgestellt werden, daß diese Norm trotz der hohen Zahl von Zurückweisungen noch als gemäßigt betrachtet werden kann.

Nach der australischen Norm, die vier Güteklassen (F5, 7, 8, 11) vorsieht, wurde in die höchste Güteklasse F11 kein einziger Balken eingestuft. In die weiteren Güteklassen wurden eingestuft: 13 % in F8, 22 % in F7 und 60 % der Gesamtzahl der Balken in F5. Der hohe Anteil der Güteklasse F5 ist darauf zurückzuführen, daß für Jahrringbreite keinerlei Begrenzung besteht und die Klasse

bezüglich der Aststärke sehr tolerant ist (vgl. Fig. 19), die Zurückweisungen waren deshalb mit 5 % im Vergleich zu anderen Normen am geringsten.

Aus dem Ergebnis der Tab. 17 kann weiter geschlossen werden, daß die Balken bezüglich der Güteklasse F11 im Durchschnitt 2,28 Fehler aufwiesen. Unter ihnen kommt den Ästen mit 39,1 % aller Fehler die größte Bedeutung zu; es folgen Mindestdichte mit 17,7 % und Jahrringbreite mit 13,2 %. Bezüglich der beiden letztgenannten Fehler ist hervorzuheben, daß sie in der Mehrzahl der Fälle gemeinsam auftreten; es wurde nämlich eine Abhängigkeit zwischen Rohdichte und Jahrringbreite festgestellt (vgl. Fig. 11). Im Hinblick auf die Anforderungen der Güteklasse F8 wurden 86,9 % der Balken zurückgewiesen mit einer mittleren Anzahl von 2,14 Fehlern pro Balken. Für die Nichtzuweisung zu dieser Güteklasse waren ebenfalls in erster Linie die Äste verantwortlich mit einem Anteil von 37,8 % aller Fehler; es folgen wie bei Güteklasse F11 Mindestdichte und Jahrringbreite mit 21,7 % bzw. 16,2 %. In den verbleibenden Güteklassen F7 und F5 wurde keine Zurückweisung wegen Mindestdichte und Jahrringbreite mehr festgestellt; es stieg aber der anteilige Einfluß der Äste auf 45,8 % bei der Güteklasse F7, während deren Einfluß bei Güteklasse F5 drastisch auf 4,8 % reduziert wurde. Bei den für Güteklasse F7 desklassifizierenden Fehlern tritt nach der Astigkeit der Twist mit 21,9 % und die Faserabweichung mit 12,5 % auf. Obwohl der Twist einen hohen prozentualen Anteil an der Gesamtfehlerzahl ausmacht, führte er nur zur Zurückweisung von 7 Balken. Bei Güteklasse F5 ist nicht mehr die Astigkeit hauptverantwortlich für die Zurückweisung, sondern vielmehr Maßhaltigkeit und Twist, die zusammen 36,8 % der Fehler ausmachen und ebenfalls zur Zurückweisung von nur 7 Balken führten. Verglichen mit den übrigen Güteklassen hat F7 mit 0,72 die gering-

ste durchschnittliche Zahl von Fehlern pro Balken, während die für Güteklasse F5 desklassifizierten Balken im Durchschnitt 1,9 Fehler aufwiesen. Da Güteklasse F7 mit der geringsten mittleren Fehlerzahl pro Balken zur Zurückweisung von Balken führt, kann diese Güteklasse als die am wenigsten strenge Norm angesehen werden. Man kann feststellen, daß die Deutsche Norm bezüglich ihrer Strenge deutlich zwei Extreme aufweist: wegen ihrer geringen Anzahl von Zurückweisungen kann man sie als ziemlich passiv bezeichnen und auf der anderen Seite kann man sie, aufgrund der Tatsache, daß kein Balken in die höchste Güteklasse eingestuft wurde, als ungeeignet für diese Art von Schnittholz bezeichnen.

Die südafrikanische SABS-Norm für die Klassifizierung von Schnittholz sieht zwei Güteklassen (V8, 6) vor. Nach dieser Norm wurden 22,4 % der Balken ganz zurückgewiesen, vor allem aufgrund der Mindestdichte, da die Trennung der Güteklassen ausschließlich durch die Mindestdichte erfolgt (vgl. ANONYMUS, 1978). Für die höchste Güteklasse V8 qualifizierten sich 15 % aller Balken; an den Zurückweisungen war die Astigkeit mit 7,5 % und die Mindestdichte als stärkster Faktor mit 70,7 % beteiligt. Die Anforderungen dieser Güteklasse, unter ihnen besonders die Mindestdichte, riefen eine Verminderung der mittleren Fehlerzahl pro Balken hervor, die 1,37 betrug. Für Güteklasse V6 wurde eine Zurückweisung von 22,3 %, bezogen auf die Gesamtzahl der Balken festgestellt, mit einer mittleren Fehlerzahl pro Balken von 2,13. Der für die Zurückweisung hauptsächlich verantwortliche Fehler war wieder die Mindestdichte mit einem Anteil von 28,6 %, gefolgt von der Faserabweichung, auf dem dritten Platz lag die Astigkeit mit 18,4 %. Die mit 15 % relativ geringe Zahl von Balken, die der höchsten Güteklasse zugewiesen wurden und ein mit 22,4 % relativ hoher Anteil von vorwiegend aufgrund der Mindestdichte ganz zurückgewiesenen Balken verdeutlichen, daß diese Norm für diese Art Schnittholz kaum geeignet ist.

Die speziell für Schnittholz von *Pinus radiata* erstellte chilenische Norm weist nur eine einzige Güteklasse auf, jedoch wurden nur 16,5 % aller Balken akzeptiert. Mit 83,5 % aller Balken hat somit diese Norm den höchsten Anteil an Zurückweisungen ergeben. In Tab. 17 erkennt man die Astigkeit als den Hauptverursacher der beobachteten hohen Zurückweisungsrate - sie ist mit 46,8 % an der Gesamtzahl der beobachteten Fehler beteiligt. Es folgt, ebenfalls mit einem beachtlichen Anteil von 33,2 %, die Jahrringbreite. Die Anforderungen dieser Güteklasse haben einen hohen Grad an Zurückweisungen hervorgerufen mit einer mittleren Fehlerzahl pro Balken von 1,66. Wegen der hohen Zurückweisungsrate, vor allem aufgrund von Astigkeit und Jahrringbreite, könnte man die Einführung einer zweiten und dritten Güteklasse vorschlagen mit abnehmenden Anspruchsniveaus. Da zwischen Jahrringbreite und Rohdichte eine, wenn auch geringere Korrelation beobachtet wird (vgl. Abschnitt 3.2.5) und da die breitesten Jahrringe in der Nähe des Markes gefunden werden, wo auch die niedrigere Rohdichte gemessen wurde, wird angenommen, daß die Rohdichte einen wirkungsvolleren Differenzierungsmaßstab darstellen und für niedrigere Anspruchsniveaus zu einer geringeren Zurückweisungsrate führen würde. Aufgrund der Ergebnisse dieser Arbeit kommt man bezüglich der chilenischen Norm zum Schluß, daß sie letztlich in hohem Maße ungeeignet ist, obwohl sie ausschließlich für die Schnittholzklassifizierung von *Pinus radiata* entwickelt wurde (vgl. ANONYMUS, 1978).

4.3.2 Ergebnisse der Biegefestigkeitsprüfung

Die Ergebnisse der Biegefestigkeitsprüfung werden zunächst getrennt für die einzelnen Klassifizierungsnormen dargestellt und diskutiert, sodann werden Vergleiche zwischen den verschiedenen Güteklassen angestellt.

In Tab. 18 sind die Ergebnisse des Biegeversuches mit den nach DIN-Norm 4074 klassifizierten Balken wiedergegeben. Für das höchste Niveau oder Güteklasse I dieser Norm war es nicht möglich, die Mittelwerte von Biege-Elastizitätsmodul und Biegefestigkeit zu bestimmen, da sich in dieser Güteklasse nur zwei Balken befanden. Die aufgeführten Werte beziehen sich daher nur auf die Güteklassen II und III.

Tab. 18: Biegefestigkeit, Biege-Elastizitätsmodul und Korrelationskoeffizient für die nach DIN 4074 sortierten Balken

Güte- klasse	Biege-Elastizi- tätsmodul (N/mm ²)	Biegefestigkeit (N/mm ²)	Korrelations- koeffizient (R)
1	--	--	--
2	10754 21,90 2354	40,00 25,10 10,00	0,70 95 % G. 99 % G.
3	8191 26,40 2191	30,78 27,80 8,55	0,65 95 % G. 99 % G.

Unter links: Variationskoeffizient (%)

Unter rechts: Standardabweichung

G.: Korrelationskoeffizient statistisch gesichert

n. G.: Korrelationskoeffizient statistisch nicht gesichert

Entsprechend Tab. 18 liegt der Mittelwert des Biege-Elastizitätsmoduls der Güteklasse II 31,3 % über dem der Güteklasse III. Für die Biegefestigkeit liegt der in Güteklasse II gefundene Mittelwert 29,9 % über dem der Güteklasse III. Die Streuung um den Mittelwert, gemessen als Variationskoeffizient, war für beide Meßgrößen in der Güteklasse III, also der weniger anspruchsvollen, höher. In dieser Güteklasse wurden sowohl für Biegefestigkeit als für Biegeelastizitätsmodul mit 27,8 % bzw. 26,4 % die höchsten Variationskoeffizienten aller Güteklassen der verwendeten Normen bestimmt. Da mit dem Variationskoeffizienten die Effizienz einer Güteklasse gekennzeichnet werden kann (LÖFFLER, 1968) - je größer die Streuung der Daten um den Mittelwert, desto heterogener sind die zu einer Güteklasse gehörenden Elemente - wird geschlossen, daß Güteklasse II effizienter ist als Güteklasse III. Aus demselben Grund kann die Güteklasse III der DIN-Norm 4074 als die am wenigsten effiziente aller Güteklassen der in dieser Arbeit verwendeten Normen betrachtet werden.

Tab. 19 stellt die Ergebnisse der Varianzanalyse für das Biege-Elastizitätsmodul zwischen den Güteklassen II und III dar. Der berechnete F-Wert von 11,73 ist größer als die Tabellenwerte für 95 und 99 % Wahrscheinlichkeit, der Unterschied des Biege-Elastizitätsmoduls zwischen den beiden Klassen also signifikant. Die Varianzanalyse für Biegefestigkeit zwischen den Güteklassen II und III ergab einen F-Wert von 9,84, womit ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden untersuchten Güteklassen sowohl für 95 als für 99 % Wahrscheinlichkeit gegeben ist (vgl. Tab. 20).

Der Korrelationskoeffizient zwischen Biegefestigkeit und Biege-Elastizitätsmodul erreichte in der Güteklasse II $R = 0,70$ und in der Güteklasse III $R = 0,65$; beide Werte sind sowohl für 95 als auch für 99 % Wahrscheinlichkeit signifikant.

Tab. 19: DIN 4074 - Varianzanalyse für Biege-Elastizitätsmodul von Güteklasse "2" und "3"

	Freiheitsgrad	Summe der Quadrate	Durchschnitts- quadrat	F
Zwischen den Gruppen	1	60 676 007	60 676 007	11,73
Innerhalb der Gruppen	38	196 553 113	5 172 450	
Insgesamt	39	257 229 120		

$$F_{05.1.38} = 4,10 < 11,73^x$$

$$F_{01.1.38} = 7,35 < 11,73^{xx}$$

Tab. 20: DIN 4074 - Varianzanalyse für Biegefestigkeit von Güteklasse "2" und "3"

	Freiheitsgrad	Summe der Quadrate	Durchschnitts- quadrat	F
Zwischen den Gruppen	1	856,27	856,27	9,84
Innerhalb der Gruppen	38	3 307,36	87,04	
Insgesamt	39	4 163,63		

$$F_{05.1.38} = 4,10 < 9,84^x$$

$$F_{01.1.38} = 7,35 < 9,84^{xx}$$

Die mit den nach der australischen RPAA-Norm klassifizierten Balken erzielten Ergebnisse sind in Tab. 21 dargestellt. Wie bei der DIN-Norm 4074, so erlaubten die Anforderungen der höchsten Güteklasse auch dieser Norm die Einstufung keines einzigen Balkens. Infolgedessen bezieht sich die Untersuchung nur auf die übrigen Güteklassen der Norm, also F8, F7 und F5.

Tab. 21: Biegefestigkeit, Biege-Elastizitätsmodul und Korrelationskoeffizient für die nach australischer RPAA-Norm sortierten Balken

Güte- klasse	Biege-Elastizi- tätsmodul (N/mm ²)	Biegefestigkeit (N/mm ²)	Korrelations- koeffizient (R)
F 5	7882 25,90 2038	30,40 26,40, 8,00	0,49 95 % G. 99 % n.G.
F 7	9939 13,60 1352	37,35 25,10 9,40	0,41 95 % n.G. 99 % n.G.
F 8	11558 17,20 1990	47,84 18,20 8,70	0,74 95 % G. 99 % G.
F 11	--	--	--

Unter links: Variationskoeffizient (%)

Unter rechts: Standardabweichung

G.: Korrelationskoeffizient statistisch gesichert

n.G.: Korrelationskoeffizient statistisch nicht
gesichert

Wie aus Tab. 21 hervorgeht, lag der Mittelwert des Biege-Elastizitätsmoduls der Güteklasse F7 um 26,1 % über dem der Güteklasse F5. Die Güteklasse F8 wies einen um 16,3 % höheren Mittelwert des Biege-Elastizitätsmoduls auf als Güteklasse F7, womit der Wert von Güteklasse F8 46,6 % über dem von Güteklasse F5 lag. Bezüglich der Biegefestigkeit lag der Mittelwert der Güteklasse F7 um 28,8 % über dem der Güteklasse F5 und der der Güteklasse F8 um 28,1 % über dem der Güteklasse F7. Der Unterschied zwischen größtem und kleinstem Mittelwert der Biegefestigkeit betrug 57,4 %.

Die Streuung der Daten innerhalb einer Güteklasse war größer bei den weniger anspruchsvollen Güteklassen. Diese Feststellung gilt sowohl für die Werte des Biege-Elastizitätsmoduls als auch für die der Biegefestigkeit. Die abnehmende Tendenz des Variationskoeffizienten in den anspruchsvolleren Güteklassen deutet darauf hin, daß diese effizienter sind als die weniger anspruchsvollen Güteklassen; es ist jedoch zu berücksichtigen, daß der Wert der anspruchsvollsten Güteklasse nicht bekannt ist.

Tabelle 22 enthält die Ergebnisse der Varianzanalyse und des DUNCAN-Testes für das Biege-Elastizitätsmodul zwischen den Güteklassen F5, F7 und F8. Der berechnete F-Wert ist mit 20,5 größer als die Tabellenwerte für 95 % und 99 % Wahrscheinlichkeit, womit bewiesen ist, daß mindestens eine Güteklasse von den restlichen signifikant verschieden ist. Der DUNCAN-Test ergab für 95 und 99 % Wahrscheinlichkeit, daß jede Güteklasse von den übrigen signifikant verschieden ist. Dieselbe Folgerung ist auch für die Biegefestigkeit gültig (vgl. Tab. 23).

Tab. 22: Australische RPAA-Norm - Varianzanalyse für
Biege-Elastizitätsmodul von Güteklasse
"F5", "F7", "F8" und DUNCAN-Test

	Freiheits- grad	Summe der Quadrate	Durchschnitts- quadrat	F
Zwischen den Gruppen	2	135 868 343	67 934 171	20,50
Innerhalb der Gruppen	57	188 901 139	3 314 055	
Insgesamt	59	324 769 482		

$$F_{05.2.57} = 4,01 < 20,50^x$$

$$F_{01.2.57} = 7,10 < 20,50^{xx}$$

Nach DUNCAN-TEST für 95 % und 99 % Wahrscheinlichkeit

Güteklasse F5 ≠ Güteklasse F7 ≠ Güteklasse F8

Güteklasse F5 ≠ Güteklasse F8

Tab. 23: Australische RPAA-Norm - Varianzanalyse für
Biegefestigkeit von Güteklasse "F5", "F6", "F8"
und DUNCAN-Test

	Freiheits- grad	Summe der Quadrate	Durchschnitts- quadrat	F
Zwischen den Gruppen	2	3085	1543	20,32
Innerhalb der Gruppen	57	4328	76	
Insgesamt	59	7414		

$$F_{0.05.2.57} = 4,01 < 20,32^x$$

$$F_{0.01.2.57} = 7,10 < 20,32^{xx}$$

Nach DUNCAN-TEST für 95 % und 99 % Wahrscheinlichkeit

Güteklasse F5 ≠ Güteklasse F7 ≠ Güteklasse F8

Güteklasse F5 ≠ Güteklasse F8

Die Korrelation zwischen Biegefestigkeit und Biege-Elastizitätsmodul konnte für Güteklasse F7 für 95 und 99 % Wahrscheinlichkeit nicht als signifikant bestätigt werden. Einer der möglichen Gründe könnte in dem recht großen Unterschied der Variationskoeffizienten der beiden Meßwerte liegen, der für Biegefestigkeit 25,1 % und für Biege-Elastizitätsmodul nur 13,6 % betrug. Es muß betont werden, daß der Wert des Variationskoeffizienten des Biege-Elastizitätsmoduls dieser Güteklasse nicht typisch ist für diese Baumart. Für Güteklasse F5 konnte der Korrelationskoeffizient zwischen den beiden Meßgrößen bei 99 % Wahrscheinlichkeit ebenfalls nicht als signifikant nachgewiesen werden, während er in den übrigen Fällen sowohl für 95 % als auch für 99 % Wahrscheinlichkeit als signifikant bestätigt werden konnte. Für Güteklasse F8 wurde ein Korrelationskoeffizient von $R = 0,74$ erzielt, was auf eine gute Effizienz dieser Güteklasse bei der Schnittholzklassifizierung hinweist.

In Tab. 24 sind die Ergebnisse der mit den nach der südafrikanischen SABS-Norm klassifizierten Balken durchgeführten Biegeversuche dargestellt. Diese Norm enthält nur zwei Güteklasse bzw. Anspruchsniveaus, nämlich V6 und V8.

Nach Tab. 24 liegt der Mittelwert des Biege-Elastizitätsmoduls für Güteklasse V8 um 37,1 % über dem der Güteklasse V6. Der Mittelwert der Biegefestigkeit ist in Güteklasse V8 um 43,7 % höher als in Güteklasse V6. Die Streuung der Werte des Biege-Elastizitätsmoduls um den Mittelwert, ausgedrückt als Variationskoeffizient, betrug für Güteklasse V6 26,1 %, für Güteklasse V8 dagegen 17,9 %. Bei der Biegefestigkeit stieg der Variationskoeffizient von 23,4 % in Güteklasse V6 auf 25,5 % in Güteklasse V8.

Tab. 24: Biegefestigkeit, Biege-Elastizitätsmodul und Korrelationskoeffizient für die nach südafrikanischer SABS-Norm sortierten Balken

Güte- klasse	Biege-Elastizi- tätsmodul (N/mm ²)	Biegefestigkeit (N/mm ²)	Korrelations- koeffizient (R)
V 6	7909	28,97	0,60 95 % G.
	26,10 2064	23,40 6,80	99 % G.
V 8	10845	41,63	0,69 95 % G.
	17,90 1940	25,50 10,60	99 % G.

Unter links: Variationskoeffizient (%)

Unter rechts: Standardabweichung

G.: Korrelationskoeffizient statistisch gesichert

n.G.: Korrelationskoeffizient statistisch nicht gesichert

Tabelle 25 stellt die Ergebnisse der Varianzanalyse des Biege-Elastizitätsmoduls zwischen den beiden Güteklasse dar. Der berechnete F-Wert von 21,96 liegt höher als die Tabellenwerte bei 95 % und 99 % Wahrscheinlichkeit und demonstriert somit, daß die Mittelwerte der beiden Güteklassen zu unterschiedlichen Populationen gehören. Die Varianzanalyse der Biegefestigkeiten gelangte bei denselben Wahrscheinlichkeitsniveaus zum gleichen Ergebnis (vgl. Tab. 26).

Tab. 25: Südafrikanische SABS-Norm - Varianzanalyse für
Biege-Elastizitätsmodul von Güteklasse "V6" und "V8"

	Freiheits- grad	Summe der Quadrate	Durchschnitts- quadrat	F
Zwischen den Gruppen	1	88 277 324	88 277 324	21,96
Innerhalb der Gruppen	38	152 747 143	4 019 661	
Insgesamt	39	241 024 467		

$$F_{0,05.1.19} = 4,10 < 21,96^x$$

$$F_{0,01.1.19} = 7,35 < 21,96^{xx}$$

Tab. 26: Südafrikanische SABS-Norm - Varianzanalyse für
Biegefestigkeit von Güteklasse "V6" und "V8"

	Freiheits- grad	Summe der Quadrate	Durchschnitts- quadrat	F
Zwischen den Gruppen	1	1 602,50	1 602,50	20,14
Innerhalb der Gruppen	38	3 023,85	79,57	
Insgesamt	39	4 626,35		

$$F_{0,05.1.38} = 4,10 < 20,14^x$$

$$F_{0,01.1.38} = 7,35 < 20,14^{xx}$$

Der Korrelationskoeffizient zwischen Biege-Elastizitätsmodul und Biegefestigkeit erreichte in der Güteklasse V6 $R = 0,60$ und in Güteklasse V8 $R = 0,69$; beide Werte sind bei 95 und 99 % Wahrscheinlichkeit signifikant.

Tabelle 27 stellt die Mittelwerte von Biege-Elastizitätsmodul und Biegefestigkeit der nach der chilenischen NCH-Norm klassifizierten Balken dar, wobei diese Norm nur eine Güteklasse enthält. Für die beiden Meßgrößen wies diese Norm die höchsten Mittelwerte im Verhältnis zu den übrigen Normen auf. Dasselbe war beim Korrelationskoeffizienten zwischen den beiden Größen zu beobachten, der $R = 0,83$ erreichte.

Tab. 27: Biegefestigkeit, Biege-Elastizitätsmodul und Korrelationskoeffizient für die nach chilenischer NCH-Norm sortierten Balken

Güte- klasse	Biege-Elastizi- tätsmodul (N/mm^2)	Biegefestigkeit (N/mm^2)	Korrelations- koeffizient (R)
A	11749 20,20 2300	50,07 22,60 11,30	0,83 95 % G. 99 % G.

Unter links: Variationskoeffizient (%)

Unter rechts: Standardabweichung

G.: Korrelationskoeffizient statistisch gesichert

n.G.: Korrelationskoeffizient statistisch nicht gesichert

Der Mittelwert des Biege-Elastizitätsmoduls war mit 11749 N/mm^2 gleich wie der für fehlerfreie Proben gefundene Mittelwert (vgl. Tab. 12). Der für Biegefestigkeit gefundene Mittelwert von $50,07 \text{ N/mm}^2$ erreichte 67 % des Mittelwertes fehlerfreier Proben. Die Variationskoeffizienten des Biege-Elastizitätsmoduls und der Biegefestigkeit können mit 20,2 % bzw. 22,6 % als normal im Verhältnis zu den Güteklassen der übrigen verwendeten Normen betrachtet werden. Diese Tatsachen verdeutlichen die Effizienz dieser Güteklasse; auf der anderen Seite muß jedoch auf den hohen Prozentsatz zurückgewiesener Balken hingewiesen werden, der einer guten Eignung dieser Norm widerspricht.

4.3.3 Vergleich zwischen den Güteklassen

RPAA, DIN, SABS und NCH

Neben den Sortiererergebnissen jeder Norm ist es von besonderem Interesse, inwieweit die Normen bzw. ihre Güteklassen bezüglich der Merkmale Biegefestigkeit und Biege-Elastizitätsmodul als gleich betrachtet werden können. Mit diesem Ziel wurden Varianzanalysen und DUNCAN-Tests zwischen den Güteklassen, sowohl für das Merkmal Biegefestigkeit als auch für das Merkmal Biege-Elastizitätsmodul durchgeführt.

Tabelle 28 stellt die Ergebnisse von Varianzanalyse und DUNCAN-Test zwischen den insgesamt 8 Güteklassen der 4 Normen für das Merkmal Biege-Elastizitätsmodul dar. Der berechnete F-Wert liegt mit 12,43 über den Tabellenwerten für 95 und 99 % Wahrscheinlichkeit. Damit steht fest, daß mindestens eine Güteklasse signifikant von den übrigen abweicht. Die Anwendung des DUNCAN-Testes für 95 und 99 % Wahrscheinlichkeit führt zu folgenden Schlußfolgerungen:

die Unterschiede zwischen den Güteklassen RPAA-F5 und SABS-V6 sind nicht signifikant, ebenso wenig diejenigen zwischen SABS-V6 und DIN-III, zwischen DIN-II und SABS-V8 sowie zwischen RPAA-F8 und NCH-A (vgl. Tab. 28).

Tab. 28: Varianzanalyse für Biege-Elastizitätsmodul von Güteklasse nach RPAA "F5", "F7", "F8" nach DIN "2", DIN "3" nach SABS "V6", "V8" und NCH "A" und DUNCAN-Test

	Freiheits- grad	Summe der Quadrate	Durchschnitts- quadrat	F
Zwischen den Gruppen	7	369 678 370	52 811 195	12,43
Innerhalb der Gruppen	152	645 849 790	4 249 011	
Insgesamt	159	1 015 528 160		

$$F_{0.05.7.152} = 2,07^x$$

$$F_{0.01.7.152} = 2,76^{xx}$$

Nach DUNCAN-TEST für 95 % und 99 % Wahrscheinlichkeit

F5	V-6	III	F7	II	V8	F8	CH-A
7881	7909	8291	9939	10754	10880	11558	11749
		N.S.					
N.S.				N.S.		N.S.	

In Tab. 29 sind die Ergebnisse von Varianzanalyse und DUNCAN-Test für Biegefestigkeit zwischen den 8 Güteklassen zu finden. Da der errechnete F-Wert von 14,94 die Tabellenwerte bei 95 und 99 % Wahrscheinlichkeit übertrifft, ist auch in diesem Fall mindestens eine Güteklasse signifikant von den übrigen verschieden. Aufgrund des bei 99 und 95 % Wahrscheinlichkeit durchgeführten DUNCAN-Testes kommt man zu folgenden Ergebnis:

nicht signifikant sind die Unterschiede zwischen RPAA-F5 und SABS-V6, zwischen RPAA-F5 und DIN-III sowie zwischen DIN II und SABS-V8, während alle übrigen Unterschiede zwischen den Güteklassen signifikant sind (vgl. Tab. 29).

Allgemein kann man feststellen, daß die Güteklassen SABS-V6, RPAA-F5 und DIN-III, also die Güteklassen geringster Anforderung der australischen, südafrikanischen und deutschen Norm, unter sich geringfügige oder keine Unterschiede aufweisen, und zwar sowohl hinsichtlich der Biegefestigkeit als auch hinsichtlich des Biege-Elastizitätsmoduls. Güteklasse F7 der australischen RPAA-Norm ist die einzige Güteklasse, die sich von allen übrigen signifikant unterscheidet. Die zwischen den Güteklassen SABS-V8 und DIN-II beobachteten Unterschiede erwiesen sich nach dem DUNCAN-Test als nicht signifikant, sowohl hinsichtlich des Biege-Elastizitätsmoduls als auch der Biegefestigkeit. Bezüglich der Güteklassen RPAA-F8 und NCH-A ergab sich, daß der Unterschied des Biege-Elastizitätsmoduls nicht signifikant ist, daß aber der Unterschied der Biegefestigkeit als signifikant anzusehen ist.

4.3.4 Vergleich der Schnittholzsortierungen in bezug auf die zulässige Spannung

Um das Ergebnis der Klassifizierung zu verdeutlichen, sind in Tab. 30 für alle Klassen der verschiedenen Normen die zulässigen Spannungen dargestellt, und zwar berechnet anhand fehlerfreier Probekörper, bestimmt aufgrund der Gebrauchsprüfung, sowie die jeweils empfohlenen zulässigen Spannungen.

Die in Spalte zwei der Tab. 30 aufgeführten Werte der zulässigen Spannung entsprechen 75 %, 60 %, 50 % und 40 % des Mittelwertes der fehlerfreien Probekörper (vgl. Abschnitt 3.3). Diese Prozentsätze spiegeln den Einfluß der visuellen Klassifizierung jeder Güteklasse wieder, d. h. mit anderen Worten, daß man bei Holz der besseren Klasse (mit höherer Festigkeit) eine höhere zulässige Spannung erlaubt. Auf diese Weise ergeben sich bei der DIN-Norm 4074 für Güteklasse I 75 %, für Güteklasse II 60 % und für Güteklasse III 40 % des mittleren Wertes der fehlerfreien Probekörper. Für die australische Norm, die vier verschiedene Güteklassen enthält, ergibt sich für die höchste Klasse F11 75 %, für F8 60 %, für F7 50 % und für F5 40 % des mittleren Wertes der fehlerfreien Probekörper. Für die südafrikanische Norm, die nur zwei Güteklassen enthält, entsprechen der höchsten Güteklasse V8 60 % und der folgenden V6 40 % desselben Bezugswertes. Bei der chilenischen Norm jedoch, entspricht der einzigen Güteklasse nur 50 % der mittleren zulässigen Spannung der fehlerfreien Probekörper.

Da der Bezugswert, d. h. der von fehlerfreien Probekörpern erreichte Wert, für jede Güteklasse immer derselbe ist, kann man auf diese Weise die Qualität der Klassifizierung für jede Güteklasse jeder Norm vergleichen, wenn man den Wert der zulässigen

Tab. 30: Zulässige Biegespannung aus fehlerfreien Holzproben und aus Gebrauchsprüfung bei verschiedenen Schnittholzsortierungen (Angaben in N/mm²)

Gütebestufung für Bauholz = Klassen in Prozent der Festigkeit der fehlerfreien Probe (100%)	zulässige Spannung aus Prüfung aus fehlerfreien Holzprobe (nach MOACK)	DIN - 1052		AUSTRALIEN (RPA)		SÜDAFRIKA (SABS)		CHILE (NCH)	
		empfohlene zulässige Spannung	aus eigener Gebrauchsprüfung (nach MOACK)	empfohlene zulässige Spannung	aus eigener Gebrauchsprüfung (nach MOACK)	empfohlene zulässige Spannung	aus eigener Gebrauchsprüfung (nach MOACK)	empfohlene zulässige Spannung	aus eigener Gebrauchsprüfung (nach MOACK)
75%	9,7	13,0	---	11,0	---	---	---	---	---
60%	7,4	10,0	6,3	8,6	10,0 ¹⁾	8,0	7,0	---	---
50%	6,0	---	---	6,9	6,4	---	---	(50 g ²⁾	9,4
40%	5,2	7,0	5,0	5,5	5,2	6,0	5,3	---	---

1) niedrigster Variationskoeffizient

2) Erläuterung im Text

Spannung der Balken bestimmt, die in jede Klasse einer Norm eingestuft wurden. In Tab. 30 sind diese Werte zu finden, die nach dem von NOACK (1971) veröffentlichten Modell für jede Güteklasse jeder Norm berechnet wurden. In derselben Tabelle ist auch der in den Normen für jede Güteklasse empfohlene Festigkeitswert angegeben. Ein Vergleich des für jede Güteklasse empfohlenen mit dem tatsächlich erreichten Wert der zulässigen Spannung veranschaulicht die Eignung jeder Norm zur Klassifizierung von Schnittholz schnellwachsender Baumarten.

Die DIN-Norm 1052 empfiehlt für Schnittholz, das nach DIN-Norm 4074 klassifiziert wurde, folgende Werte der zulässigen Spannung: für Güteklasse I 13 N/mm^2 , 10 N/mm^2 für Güteklasse II, 7 N/mm^2 für Güteklasse III. Diese Werte sind sehr hoch, verglichen mit den für fehlerfreie Probekörper berechneten Werten. Der Unterschied wird noch deutlicher beim Vergleich des empfohlenen Wertes mit der für die Balken jeder Klasse berechneten Festigkeit (vgl. Tab. 30).

Der für das Schnittholz der Güteklasse DIN-II berechnete Wert der zulässigen Spannung liegt unter 60 % des für fehlerfreie Probekörper bestimmten Wertes. Der gefundene Wert entspricht 50 % des Wertes fehlerfreier Holzproben und liegt damit zwischen Güteklasse II und Güteklasse III.

Bezüglich der zulässigen Spannung weist die DIN-Norm 4074 bei der Anwendung zur Klassifizierung von Schnittholz raschwüchsiger Baumarten folgende Eigenschaften auf:

- die nach DIN 1052 für jede Güteklasse empfohlenen Werte der zulässigen Spannung sind sehr hoch im Vergleich mit den für fehlerfreie Probekörper berechneten Werten;

- die für Schnittholz berechnete zulässige Spannung ist sehr niedrig im Vergleich mit den von DIN 1052 für jede Klasse empfohlenen Werten;
- die für Schnittholz der Güteklasse II berechnete zulässige Spannung beträgt weniger als 60 % des Wertes der fehlerfreien Probekörper;
- aus den angeführten Gesichtspunkten wird geschlossen, daß die in der Norm DIN 1052 angegebenen Werte zulässiger Spannung für Schnittholz, das nach DIN 4074 klassifiziert wurde, angepaßt werden sollten, wenn es sich um Schnittholz raschwüchsiger Holzarten handelt.

Die australische PRAA-Norm empfiehlt für ihre vier Güteklassen folgende Werte: 11 N/mm² für Güteklasse F11, 8,6 N/mm² für Güteklasse F8, 6,9 N/mm² für F7 und 5,5 N/mm² für Güteklasse F5. Diese Werte erscheinen, verglichen mit den Werten fehlerfreier Probekörper, etwas hoch. Im allgemeinen beträgt der Unterschied mehr als 1 N/mm², für Güteklasse F5 nur 0,3 N/mm², für F7 0,9 N/mm², für F8 sind es 1,2 N/mm² und für F11 1,3 N/mm².

Für Güteklasse F8 dieser Norm wurde ein hoher Wert der zulässigen Spannung von 10 N/mm² festgestellt, der wahrscheinlich nicht der Realität entspricht. Verantwortlich für diesen hohen Wert ist der niedrige Variationskoeffizient der Biegefestigkeit der Balken dieser Klasse (vgl. Tab. 21). Läge der Variationskoeffizient der Biegefestigkeit in derselben Höhe wie bei den übrigen Klassen, so würde die zulässige Spannung dieser Klasse ungefähr 8,0 N/mm² betragen, was ein angemessener Wert wäre. Wenn dies berücksichtigt wird, kann man feststellen, daß diese Norm in bezug auf den Vergleich der zulässigen Spannung die besten Ergebnisse liefert.

Die RPAA-Norm wurde entwickelt für die Klassifizierung von Schnittholz aus Aufforstungen von *Pinus radiata* in Australien. Bezüglich der zulässigen Spannung ist sie offensichtlich auch gut geeignet für die Klassifizierung von Schnittholz von *Pinus radiata* aus Chile. Daß kein einziger Balken in die höchste Güteklasse dieser Norm einklassifiziert wurde, kann aus dem geringen Alter der in dieser Arbeit verwendeten Bäume erklärt werden.

Die südafrikanische SABS-Norm enthält zwei Güteklassen, V8 und V6, für die zulässige Spannungen von 8 N/mm^2 bzw. 6 N/mm^2 empfohlen werden. Diese Klassen entsprechen 60 % bzw. 40 % des Wertes der zulässigen Spannung von fehlerfreien Probekörpern. Beim Vergleich dieser Werte mit denen fehlerfreier Probekörper erhält man die besten Ergebnisse aller untersuchten Normen. Der Wert der Güteklasse V8 weist nur eine positive Abweichung von $0,6 \text{ N/mm}^2$, der der Güteklasse V6 eine (ebenfalls positive) Abweichung von $0,8 \text{ N/mm}^2$ gegenüber dem Wert fehlerfreier Probekörper auf.

Die Werte der zulässigen Spannung des Schnittholzes der einzelnen Güteklassen liegen unter den in der Norm empfohlenen, stimmen jedoch für die Prozentsätze jeder Güteklasse mit den aus fehlerfreien Probekörpern bestimmten überein.

Bezüglich des Wertes der zulässigen Spannung jeder Güteklasse kann diese SABS-Norm also als gut geeignet für die Schnittholzklassifizierung von *Pinus radiata* aus Chile angesehen werden.

Die chilenische NCH-Norm, die für die Schnittholzklassifizierung von *Pinus radiata* entwickelt wurde, enthält nur eine Güteklasse. In dieser Norm ist kein absoluter Wert der zulässigen Spannung

angegeben, sondern ein Prozentsatz, und zwar 50 % des Festigkeitswertes von fehlerfreien Probekörpern. Im vorliegenden Fall entspricht der Wert der zulässigen Spannung 6 N/mm^2 .

Es kann daher erneut gefolgert werden, daß die Anforderungen dieser Güteklasse zu streng sind. Diese Tatsache spricht für die Aufnahme weiterer Güteklassen mit niedrigeren Anforderungen, wodurch der Prozentsatz der Zurückweisungen dieser Norm etwas vermindert würde.

Bezüglich der zulässigen Spannung wird zusammenfassend festgestellt, daß die besten Ergebnisse bei der Schnittholzklassifizierung von *Pinus radiata* von der australischen und der südafrikanischen Norm erreicht wurden, wobei der australischen der Vorzug zu geben wäre, da sie im Verhältnis zur südafrikanischen eine größere Zahl von Güteklassen aufweist. Die chilenische Norm ist, trotz der Tatsache, daß sie speziell für diese Art Schnittholz entwickelt wurde, bezüglich der empfohlenen zulässigen Spannung als sehr streng, u. U. sogar als ungeeignet anzusehen. Die deutsche Norm weist für diese Art Schnittholz sehr hohe Werte der zulässigen Spannungen auf. Für Schnittholz von *Pinus radiata* aus Chile wäre daher eine Anpassung der Werte der zulässigen Spannung erforderlich. Aufgrund der Untersuchung bedarf auch die Klassifizierung selbst, d. h. die Norm DIN 4074, einer Ergänzung in ihren Anforderungen für die Güteklasse II, da hier zwischen den Werten der zulässigen Spannung von fehlerfreien Probekörpern und von dieser Klasse zugewiesenem Schnittholz ein relativ großer Unterschied festgestellt wurde.

5. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

5.1 Rundholzeigenschaften - Holzproben *Pinus radiata*

Die am Stammrundholz äußerlich erkennbaren Qualitätsmerkmale wurden exakt aufgenommen, um ein klares Bild von den Be- und Verarbeitungsmöglichkeiten dieser Holzart zu erhalten.

Die Schaftdurchmesser (ohne Rinde) wurden in Millimeter-Genauigkeit am Stammzopf, in der Stammitte und am Stammfuß erfaßt.

Der Durchmesser des Stammfußes erreichte einen Mittelwert von 39,40 cm, der der Stammitte 31,90 cm. Der Stammzopf mißt bei einer durchschnittlichen Länge von 12 m noch 28,50 cm. Alle Durchmesserwerte wiesen einen Variationskoeffizienten (CV) von ca. 20 % auf.

Die Abholzigkeit wurde für die gesamte Stammlänge sowie für den unteren und oberen Stammteil mit jeweils ca. 6 m Länge berechnet. Während der Erdstückbereich und die Gipfelzone als sehr abholzig zu bezeichnen waren, lag der Gesamtschaft mit einer Durchmesserabnahme von weniger als 1 cm/lfm noch im vollholzigen Bereich.

Um einen Überblick über die Verteilung der Äste am Stamm zu erhalten, wurde sowohl die Lage jedes Astes als auch die des größten und kleinsten Durchmessers bestimmt. Neben den Astdurchmessern wurde die Häufigkeit und Verteilung der vorkommenden Äste dargestellt. Der mittlere Astdurchmesser beträgt, mit einem Varianzkoeffizienten von 47,2 %, 28,8 mm. Über die gesamte Stammlänge von 12 m hinweg belief sich die mittlere Zahl der Äste auf 74, d. h. 6,2 je lfm. Astfreie Längen wurden, mit einem Anteil von 26 %, am häufigsten in der Längenklasse von 21 bis 40 cm beobachtet. Nur 9,8 % der Fälle waren länger als 1 m.

Die Untersuchung der Stammform zeigte, daß 65,4 % der Stämme keine oder unbedeutende einschnürige Krümmungen aufwiesen. 23,1 % der Stämme waren einschnürig und 11,5 % in mehreren Ebenen gekrümmt. Die Lage der Pfeilhöhe befand sich in allen Fällen im Bereich zwischen 2 und 6 m vom Stammfuß aus gemessen.

Nach dem Vorschlag von KNIGGE und SCHULTZ (1966) zur Charakterisierung der Exzentrizität des Stammquerschnittes, konnten die Probestämme als nicht exzentrisch charakterisiert werden.

In einem weiteren Schritt wurde nach den Güteklassen der HKS sortiert. Nach den forstlichen Sortierungsgewohnheiten wäre die gesamte Holzmenge, aufgrund der Astigkeit, nach der Güteklasse C sortiert worden. Ein Sägewerksinhaber hätte 20 Stämme nach Güteklasse C und 6 Stämme nach Güteklasse D sortiert. Die Güteansprache durch einen Holztechnologen führte zur Aushaltung von 22 Stämmen in Güteklasse C und von 4 Stämmen - davon 3 aufgrund der Astdicke, 1 aufgrund der Krümmungsverhältnisse - in die Güteklasse D.

5.2 Physikalische und mechanische Eigenschaften der geprüften Pinus radiata-Hölzer

Ein wichtiger Kennwert für die Eigenschaften und die Brauchbarkeit von Hölzern ist ihre Rohdichte. Die Rohdichte (bei $r = 12\%$) von *Pinus radiata* wurde an Proben aus dem inneren und äußeren Bereich jeder Stammscheibe ermittelt. Die Mittelwerte betrugen $0,42 \text{ g/cm}^3$ und $0,47 \text{ g/cm}^3$ für den inneren bzw. äußeren Bereich. Dieser Unterschied ist sowohl für 95 als auch für 99 % Wahrscheinlichkeit statistisch abgesichert. Für den Gesamtstammscheibendurchmesser wurde ein Rohdichtewert von $0,45 \text{ g/cm}^3$ gefunden.

Das Schwindmaß der *Pinus radiata* war im Vergleich zu anderen Baumarten gering. Eine Differenz zwischen dem tangentialen sowie dem radialen Schwindmaß des inneren und äußeren Bereichs konnte, mit 95 und 99 % Überschreitungswahrscheinlichkeit abgesichert, nachgewiesen werden. Anhand der gefundenen Werte konnte gezeigt werden, daß das Holz von *Pinus radiata*, gemessen an anderen Nadelhölzern und bezogen auf das Gewicht ein etwas niedrigeres Schwindmaß aufwies.

Die Jahrringbreite wurde an Stammscheiben, die in 4 m Höhe über dem Fällschnitt entnommen wurden, gemessen. Sie schwankte zwischen 1,0 und 21,0 mm. Der häufigste Wert lag mit einem prozentualen Anteil von 13,9 % bei etwa 4,0 mm. In den ersten Lebensjahren waren die Ringbreiten relativ gering, stiegen dann rasch zu einem Maximum an, um dann mit zunehmendem Lebensalter allmählich und stetig abzunehmen. Der Stärkenzuwachs kulminierte bei den untersuchten Stammscheiben im Durchschnitt etwa im 4. oder 5. Lebensjahr. Die Beziehung zwischen Jahrringbreite und Rohdichte war mit einem Korrelationskoeffizient von $R = 0,51$ gekennzeichnet, aber die Einflüsse wie das Alter, die Lage im Stammquerschnitt usw. wurden maximal vermindert.

Die Festigkeitseigenschaften von fehlerfreiem Holz wurden anhand von 4 Holzproben aus jedem Rundholzstamm bestimmt. Die Ausformung der Proben für die Ermittlung der Biegefestigkeit entsprach der amerikanischen Norm ASTM D-143-52. Sie wurde aufgrund der großen Jahrringbreite der Holzproben der deutschen Norm vorgezogen.

Die bestimmten Werte, d. h. Biegefestigkeit, Biege-Elastizitätsmodul und Druckfestigkeit, wurden auf Holzproben mit 12 % Holzfeuchtigkeit bezogen, bei Abweichungen von dieser Holzfeuchtigkeit wurden sie korrigiert.

Die statistische Auswertung bezog sich im wesentlichen auf eine Varianzanalyse zur Beurteilung des Unterschiedes zwischen innerem und äußerem Stammbereich.

Der mittlere Wert der Biegefestigkeit von *Pinus radiata* betrug $74,8 \text{ N/mm}^2$, mit einem Korrelationskoeffizient von $CV = 26,45 \%$. Dieser lag somit erheblich über demjenigen der europäischen Nadelbaumarten. Der Unterschied zwischen innerem und äußerem Bereich betrug $20,1 \%$. Er ist statistisch abgesichert. Der Zusammenhang zwischen Rohdichte und Biegefestigkeit wurde mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,55$ abgesichert. Die große Streuung der Biegefestigkeit im Verhältnis zur Rohdichte hatte dementsprechend nur einen geringeren Korrelationskoeffizienten zur Folge.

Das Biege-Elastizitätsmodul betrug für den gesamten Stammbereich $11\,000 \text{ N/mm}^2$, mit einem Variationskoeffizienten von $CV = 21,88 \%$, der sich somit innerhalb der akzeptierten Grenzen befand. Der Unterschied zwischen dem Biege-Elastizitätsmodul des inneren und äußeren Holzes konnte mit 95 und 99 % Sicherheit nachgewiesen werden.

Die Beziehung zwischen Rohdichte und Biege-Elastizitätsmodul wurde mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,53$ statistisch nachgewiesen.

Die Druckfestigkeit betrug beim untersuchten Material im Durchschnitt $35,07 \text{ N/mm}^2$, mit einem Variationskoeffizienten von $CV = 25,91 \%$, was in bezug auf die Druckfestigkeit bei, in langen Umtriebszeiten erzeugtem Holz, als hoch bezeichnet werden kann. Der Unterschied der Druckfestigkeitswerte zwischen innerer und äußerer Zone wurde anhand einer Varianzanalyse nachgewiesen. Auch die Beziehung zwischen Druckfestigkeit und Rohdichte wurde mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,53$ statistisch abgesichert. Jedoch konnte hier, wie bei der Biegefestigkeit, wegen der großen Streuung der Druckfestigkeit im Verhältnis zur Rohdichte, keine enge Beziehung erwartet werden.

Die gefundenen Ergebnisse aus den Pinus-radiata-Proben sowie deren Streuung wurden mit anderen europäischen Nadelbaumarten verglichen. Zusammenfassend kann gesagt werden, daß das Holz von Pinus radiata eine größere Streuung um die Mittelwerte aufwies als dies bei mitteleuropäischen Baumarten gefunden wird.

Die Festigkeit des Holzes von Pinus radiata ermöglicht somit eine Verwendung im Bauwesen. Die gefundene Streuung der Einzelwerte erfordert jedoch höhere Sicherheitsfaktoren als bei den bisher verwendeten Gebrauchshölzern.

5.3 Vergleichende Schnittholzsortierung von Pinus radiata

In bezug auf die zur Klassifizierung von Schnittholz von Pinus radiata aus Chile verwendeten vier Normen kann festgestellt werden, daß alle Normen bezüglich ihrer eigenen Güteklassen effizient waren, d. h. mit Ausnahme der chilenischen NCH-Norm konnten in jedem Fall statistische Unterschiede der mechanischen Eigenschaften zwischen den einzelnen Güteklassen nachgewiesen werden.

Bei allen, außer der südafrikanischen SABS-Norm war festzustellen, daß hinter der Astigkeit sämtliche übrigen Fehler an Bedeutung weit zurücktraten.

Die Kriterien der südafrikanischen Norm basieren hauptsächlich auf dem spezifischen Gewicht und der Faserabweichung. Die zulässigen Grenzwerte dieser beiden Merkmale schließen praktisch jugendliches Holz (juvenile wood) und Holz mit breiten Jahrringen aus der besten Güteklasse aus. Es muß hervorgehoben werden, daß diese Norm keine Zulässigkeitsgrenzen für die Jahrringbreite enthält. Sie wies die zweithöchste Zurückweisungsquote auf, nämlich 22,3 %; die Mehrzahl der Zurückweisungen, 28,6 %, erfolgte, weil der untere Grenzwert des spezifischen Gewichtes nicht erreicht wurde. Das Merkmal Astigkeit war für 18,4 % der Zurückweisungen verantwortlich. Vermutlich würden bei älterem Holz bei dem der Prozentsatz erwachsenen Holzes im Verhältnis zum Jugendholz zunimmt, die Astigkeit eine dominierendere Rolle bei der Klassifizierung spielen.

Bezüglich der in der SABS-Norm für jede Güteklasse empfohlenen zulässigen Spannung wurde beobachtet, daß diese Werte recht hoch liegen im Verhältnis zu den hier gefundenen konkreten Prüfwerten der Balken in einzelnen Güteklassen; andererseits entsprechen

sie praktisch den Werten, die an fehlerfreien Probekörpern gefunden wurden (vgl. Tab. 30). Aus diesen Gründen kann gefolgert werden, daß diese Norm zur Klassifizierung von Schnittholz von *Pinus radiata* aus Chile gut geeignet ist.

Die australische RPAA-Norm basiert bei den höchsten Güteklassen auf Astigkeit und spezifischem Gewicht, bei den übrigen Güteklassen vor allem auf der Astigkeit; eine Mindestdichte wird hier nicht mehr gefordert. Aufgrund dieser Anforderungen wird Schnittholz mit Jugendholz aus der höchsten Güteklasse eliminiert. Die Norm enthält zusätzlich Grenzwerte für die Jahrringbreite; da diese aber normalerweise mit dem spezifischen Gewicht eng korreliert sind, verlieren sie etwas an Bedeutung.

Die Ergebnisse der australischen Norm wiesen zwei gegensätzliche Extreme auf: Nur 4,8 % aller Balken wurden zurückgewiesen, andererseits erbrachte kein Schnittholz die Qualifikation für die höchste Güteklasse. Daraus kann geschlossen werden, daß das obere Extrem Holz dieser Art oder zumindest dieses Alters nicht mehr erfaßt, während das untere Extrem, d. h. die Güteklasse F5 diesem Holz relativ gut angepaßt ist.

Bezüglich der in der RPAA-Norm definierten zulässigen Spannung kann festgestellt werden, daß die Werte angemessen sind, sowohl im Vergleich mit Werten fehlerfreier Probekörper als auch verglichen mit den bei der Gebrauchsprüfung der Balken erhaltenen Werten. Es muß auf den hohen Wert der zulässigen Spannung hingewiesen werden, der für die Balken der Güteklasse F8 berechnet wurde; dieser Wert könnte in dem geringeren Variationskoeffizienten der Biegefestigkeit dieser Güteklasse begründet sein (vgl. Tab. 21).

Die deutsche Norm DIN 4074 erwies sich in den Anforderungen ihrer Güteklasse I als zu anspruchsvoll für diese Art Holz, vor allem hinsichtlich der Merkmale Astigkeit, Jahrringbreite und Mindestdichte. (DIN-Mindestdichte und Jahrringbreite werden bei den übrigen Güteklassen nicht als Kriterien verwendet.)

Die in der Norm DIN 1052 angegebenen Werte der zulässigen Spannung für Holz, das nach DIN 4074 sortiert wurde, sind für das in dieser Arbeit verwendete Holz von *Pinus radiata* als sehr hoch anzusehen. Die für fehlerfreie Probekörper berechneten Werte der zulässigen Spannung lagen etwa 35 % unter den in der Norm empfohlenen Werten, sowohl bei Güteklasse III als auch bei Güteklasse II. Dieselbe Feststellung gilt für die in der Gebrauchsprüfung gewonnenen Werte der zulässigen Spannung: sie liegen bei Güteklasse III 28,5 % und bei Güteklasse II 37 % unter den in der Norm empfohlenen. Andererseits wurden mit fehlerfreien Probekörpern und mit Balken praktisch dieselben Werte erhalten. Die Ergebnisse dieser Norm könnten verbessert werden durch Einbeziehung der Mindestdichte als Kriterium für die Güteklassen II und III sowie durch eine Anpassung der Werte der zulässigen Spannung nach unten.

Die chilenische NCH-Norm, die nur eine Güteklasse aufweist, basiert vorwiegend auf den Merkmalen der Astigkeit und Jahrringbreite. Bezüglich der Menge des von dieser Norm akzeptierten Holzes erwies sie sich als sehr ungeeignet zur Klassifizierung dieser Art von Schnittholz. Durch Einfügen einer oder zweier weiterer Güteklassen mit geringerem Anforderungsniveau würde mit Sicherheit die Verwendungsfähigkeit dieser Norm erhöht. Die chilenische Norm wies die höchsten absoluten Werte für Biege-Elastizitätsmodul und Biegefestigkeit auf, was die Strenge und Effizienz der Anforderungen demonstriert.

Die NCH-Norm legt keinen Absolutwert der zulässigen Spannung fest, sondern 50 % des Wertes der Biegefestigkeit fehlerfreier Probekörper. Jedoch betrug der für Balken im Versuch ermittelte Wert der zulässigen Spannung 75 % des Wertes der Biegefestigkeit fehlerfreier Probekörper; hieraus wird gefolgert, daß die Anforderungen dieser einzigen Güteklasse abgeändert werden könnten im Sinne einer Anhebung des Wertes der zulässigen Spannung auf 75 %, was die Einführung weiterer, weniger anspruchsvoller Güteklassen unterstützen würde.

5.4 Zulässige Spannung für Pinus radiata nach NOACK (1971)

Der Vergleich zwischen den zulässigen Spannungen, berechnet für fehlerfreie Probekörper und für Holz in Bauholzdimensionen bestätigt die Anwendbarkeit der von NOACK (1971) vorgeschlagenen Methode zur Berechnung der zulässigen Spannung.

Im Hinblick auf raschwüchsiges Holz müssen jedoch folgende Einschränkungen gemacht werden:

- Raschwüchsiges Holz aus Plantagen, wie etwa Pinus radiata, weist in seinen mechanischen Eigenschaften größere Variationen auf als Holz, dessen Wachstumsbedingungen normalen Verhältnissen entsprechen. Aufgrund dieser Tatsache wurde bei der Berechnung der zulässigen Spannungen ein größerer Sicherheitszuschlag verwendet. In dem verwendeten Modell wird der Sicherheitszuschlag unter anderem in Funktion des Variationskoeffizienten berechnet. Da dieses Holz größere Variationskoeffizienten aufweist, ist also der Wert der zulässigen Spannungen für dieses Holz prozentual geringer als für "normal" erwachsenes Holz.
- Da zwischen Jugendholz und erwachsenem Holz charakteristische Unterschiede bestehen, müssen diese beiden Arten des Holzes bei der Berechnung der zulässigen Spannung berücksichtigt werden. Dies erweist sich als notwendig insbesondere aufgrund der Tatsache, daß die Biegefestigkeit bei Jugendholz 20,1 % kleiner ist als bei erwachsenem Holz, und daß beide fast gleiche Variationskoeffizienten aufweisen, nämlich Jugendholz 23,94 % und erwachsenes Holz 24,32 %.

Hinsichtlich der zulässigen Biegefestigkeitsspannung kann dieses Holz durchaus für tragende Teile, etwa im Bauwesen verwendet werden. Es wird vorgeschlagen, die Umtriebszeit in Plantagenbeständen zu erhöhen, um den prozentualen Anteil von Jugendholz zu reduzieren, sowie Ästungen durchzuführen, um die Astigkeit zu verringern.

6. LITERATURVERZEICHNIS

- | | | |
|--|------|---|
| ABETZ, P. | 1972 | "Zur waldbaulichen Behandlung der Kiefer in der nordbadischen Rheinebene." Allgemeine Forstzeitschrift Nr. 29, München, S. 591 - 594 |
| ANONYMUS | 1977 | "Mitteilung des Instituto Forestal" Valdivia/Chile. In BRÖKER, 1980 |
| ANONYMUS | 1978 | "The radiata pine in Chile." Chilean Forestry News 1: S. 3 - 5. In BRÖKER, 1980 |
| BANKS, C.H. | 1977 | "The mechanical properties of timbers with particular reference to those grown in the republic of South Africa." Bellelin No. 48, Department of Forestry, Pretoria. In BRÖKER, 1980 |
| BAUCH, J. | 1975 | "Dendrologie der Nadelbäume und übrigen Gymnospermen." Berlin, Walter de Gruyter, 188 S. |
| BENDTSEN, A.B. | 1978 | "Properties of wood from improved and intensively managed trees." Forest Products Journal Vol. 28, Nr. 10, S. 61 - 72 |
| BRÖKER, F.W. | 1980 | "Technologische Untersuchungen an Pinus radiata Importhölzern aus Chile." Holz als Roh- und Werkstoff 38, Springer-Verlag, S. 345 - 350 |
| DIN | 1975 | "Taschenbuch Nr. 31. Normen für Holz und Holzschutz." Deutscher Normenausschuß e. V. (DNA), Beuth-Verlag GmbH, 156 S. |
| DITCHBURNE, N,
KLOOT, N.H. und
RUMBALL, B. | 1975 | "The mechanical Properties of Australien - grown Pinus radiata D. Don." CSIRO Aust. Div. Build. Res. Tech. Pap. (Second Ser.) Nr. 9, Australien, 17 S. |

- EISENHAUER, G. 1981 "Chile: Auf dem Weg zu einem Waldland mit Zukunft." Holz Aktuell, Zeitschrift der Danzer-Unternehmen, Heft 3; Herausgeber: Karl Danzer Furnierwerke S. 48 - 53
- FAO/ECE 1976 "European timber and prospects 1950 - 2000." Timber Bull. for Europe Vol. 29/Suppl. 3, Genf, 308 S.
- FUPEF 1978 "Inventário Florestal do Pinheiro no Sul do Brasil." Fundacao de Pesquisas Florestais do Paraná, Curitiba, 327 S.
- GLOBAL 2000 1977 "Council on Environmental Quality und dem US-Außen-Ministerium." U.S. Government Printing Office, Washington, 1508 S; Deutsche Übersetzung bei Zweitausendeins, Frankfurt am Main
- GRAMMEL, R. 1981 "Zaire - das Waldland Afrikas." Holz Aktuell, Heft 3, Herausgeber: Karl Danzer Furnierwerke, S. 66 - 71
- HARRIS, J.M. 1965 "Preliminary studies of spiral grain in Radiata-pine." Proc. IUFRO Sect. 41 Meering, Melbourne, Band 1, 9 S.
- HILF, H.H. 1959 "Das Douglasienholz - Eigenschaften und Verwertung." Sonderdruck aus dem Holz-Zentralblatt, Nr. 55/56 vom 09. Mai 1959 und Nr. 68 vom 06. Juni 1959, Stuttgart, 165 S.
- HKS 1974 "Die Handelsklassensortierung für Rohholz mit ergänzenden Erläuterungen." Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Weinbau und Forsten - Baden-Württemberg, 24 S.
- HUBER, A. 1975 "Beitrag zur Klimatologie und Klimaökologie von Chile." Univ. Fortstwissenschaft, Diss. vom 09.07.75, München, 87 S

- | | | |
|----------------------------------|------|--|
| IBDF | 1977 | "Situacao Florestal Brasileira." Instituto Brasileiro de Desenvolvimento e Planejamento Florestal. Série Técnica No. 4, Brasilia, 70 S. |
| KNIGGE, W. und SCHULTZ, H. | 1966 | "Grundriß der Forstbenutzung." Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 584 S. |
| KNIGGE, W. und LEWARK, S. | 1976 | "Die Streuung der Holzeigenschaften schnellwüchsiger Baumarten." Forstarchiv Zeitschrift für wissenschaftlichen und technischen Fortschritt in der Forstwirtschaft, Nr. 47. Verlag M. H. Schaper, Hannover, S. 251 - 256 |
| KOLLMANN, F. | 1951 | "Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe." Bd. 1, 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 1050 S. |
| KOLLMANN, F.P. und COTE, W.A.JR. | 1968 | "Principles of Wood Science and Technology, Solid Wood." Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 592 S. |
| KÖNIG, E. | 1959 | "Holz als Werkstoff, Holz als Baustoff." Holz-Zentralblatt, Verlags-GmbH, Stuttgart, S. 290 |
| KÖNIG, E. | 1970 | "Sortierung und Pflege von Rund- und Schnittholz." DRW-Verlags-GmbH, Stuttgart, 304 S |
| KRAMER, H. | 1977 | "Zur Qualitätsentwicklung junger Kiefernbestände in Abhängigkeit vom Ausgangsverband." Der Forst- und Holzwirt, Jg. 32, 23 S. 469 - 476 |
| LAAR, A. | 1976 | "Nadelbiomasse, Zuwachs und Zuwachsverteilung von Pinus radiata in Südafrika unter dem Einfluß von Durchforstung und Astung." Forstw. Cbl. 95, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, S. 264 - 285 |

- LADEIRA, H.P. 1977 "Wirtschaftliche Kriterien für die Gründung von Holzindustrien und die Verbesserung der Infrastruktur in Entwicklungsländern." Forstwissenschaftliche Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br., Dissertation, 180 S.
- LANGLAND, I. 1938 "The mechanical properties of South Australian plantationgrown *Pinus radiata* D. Don." Pamph. Coun. Sci. Industr. Res. Austr. No. 87. In DITCHBURNE et al, 1975
- LANLY, J.P. und CLEMENT, J. 1979 "Present and future forest and plantation areas in the tropics." FO: MISC/7911, Food and Agricultural Organization, Rom
- LARSON, P.R. 1972 "Evaluation the Quality of Fast-grown Coniferous Wood." 63 rd. West. Forest. Conf. Gen. Proc., 7 S.
- LAVERS, G.M. 1974 "The Strength Properties of Timbers." MTP Construction Medical and Technical Publishing Co. Ltda. England, S. 1 - 66
- LÖFFLER, H.D. 1964 "Kriterien der Bewertung von Nadelstammholz." Schriftenreihe der Forstlichen Abteilung der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br., Bd. 4, BLV München, Basel, Wien, S. 204 - 216
- LÖFFLER, H.D. 1968 "Einflüsse auf den Wert des Rohholzes." Schriftenreihe der Forstlichen Abteilung der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br., Bd. 9, BLV München, Basel, Wien, 116 S.
- NCH-1207 1978 "Norma para clasificación por resistencia de madera aserrada de pino insignie." Decreto No. 224 de 7 de julio de 1978, Chile Forestal. Periodico del sector forestal chileno, Ano 3, Nr. 36 S. 8 - 9
- NOACK, D. 1971 "Tropische Hölzer in tragenden Bauwerken." Holz-Zentralblatt Nr. 55, S. 795 - 796

- | | | |
|------------------------------------|------|--|
| NOACK, D. | 1976 | "Beziehungen zwischen den Rohstoff-Eigenschaften und den Anforderungen der Verwendungen. 1. Holzeigenschaften und Holzverwendungen." Holz als Roh- und Werkstoff, Bd. 34, Springer-Verlag Berlin, New York, S. 121 - 126 |
| NOCK, H.P. und
BÜTTCHER, P. | 1978 | "Radiata-Pine-Rundholz aus Chile. Eine Beurteilung der Qualität und des Potentials für die deutsche Holz-industrie." Sonderdruck aus Holz-Zentralblatt 104 (1978), Nr. 129, Stuttgart, S. 2003 - 2006 |
| NORTHCOTT, P.L. | 1965 | "The effects of spiral grain on the usefulness of wood." Proc. IUFRO Sect. 41 Meeting, Melbourne, Band 1, 20 S. |
| PEARSON, R.G. und
GILMORE, R.C. | 1980 | "Effect of Fast Growth Rate on the Mechanical Properties of Loblolly Pine." Forest Products Journal (30), 5, S. 47 - 54 |
| PÉLLICO-NETTO, S. | 1979 | "Die Forstinventuren in Brasilien - Neue Entwicklungen und ihr Beitrag für eine geregelte Forstwirtschaft." Dissertation, Forstwissenschaftliche Fakultät der Albert-Ludwigs-Universi-tät Freiburg i. Br., 232 S. |
| PRODAN, M. | 1971 | "Forstliche Biometrie." BLW-Verlags-gesellschaft München, Bonn, Wien, 432 S. |
| RIEBELING, R. | 1979 | "Standortkundliche, ertragskundliche und betriebswirtschaftliche Überle-gungen zum Anbau schnellwachsender Baumarten, insbesondere zur Douglasie." Forst- und Holzwirt, Nr. 9, Verlag M & H Schaper - Hannover, S. 177 - 184 |
| RÖHRIG, E. | 1979 | "Waldbauliche Aspekte beim Anbau schnell-wachsender Baumarten." Der Forst- und Holzwirt, Nr. 6, Verlag M & H. Schaper, S. 106 - 112 |

- | | | |
|--|------|--|
| RPAA | 1974 | "Grading-Rules for radiata pine timber." Radiata Pine Association of Australia, Hackney, 125 S. |
| SABS | 1978 | "Standard specification for Stress-Graded Softwood Engineering timber." SABS 1245 - 1978, South African, Bureau of Standards, 13 S. |
| SCOTT, C.W. | 1960 | "Pinus radiata." FAO Forest Studies, Rome, Nr. 14, 328 S. |
| SCHMALTZ, J. | 1976 | "Entwicklung und Wuchseigenschaften der Pinus radiata in Chile." Holz-Zentralblatt, Nr. 6, S. 36 - 42 |
| SCHULZ, H. | 1978 | "Waldbau und Holzqualitäten - Zusammenhänge zwischen waldbaulichem Modell, Holzeigenschaften und der Holzverwendung." Kolloquienreihe Forstbenutzung der Forstwissenschaftlichen Fakultät Freiburg, Heft 4, S. 21 - 25 |
| SPEIDEL, G. | 1981 | "Der Amazonaswald - eine Herausforderung an Wissenschaftler, Techniker und Politiker." Holz Aktuell, Heft 3 - Eine Zeitschrift der Danzer Unternehmen, S. 34 - 39 |
| STEINLIN, H. | 1979 | "Die Holzproduktion der Welt; Ökologische, soziale und ökonomische Aspekte." In Schriftenreihe des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Heft 220, S. 14 - 44 |
| TRENDELENBURG, R. und
MAYER-WEGELIN, H. | 1955 | "Das Holz als Rohstoff." Carl Hanser Verlag München, 541 S. |
| WEISGERBER, H. | 1979 | "Züchtungsarbeiten mit schnellwachsenden Baumarten - Ergebnisse und Möglichkeiten." Der Forst- und Holzwirt, Nr. 7, Verlag M & H Schaper, Hannover, S. 129 - 134 |
| ZOBEL, B.J. und
McELWEL, R.L. | 1958 | "Natural variation in wood specific gravity of lobolly pine, and an analysis of contributing factors." TAPPI, 41 (4), S. 158 - 161 |

7. FIGURENVERZEICHNIS

Figur	Bezeichnung	Seite
1	Das natürliche Verbreitungsgebiet von <i>Pinus radiata</i> in Kalifornien (USA), nach SCOTT, 1960	16
2	Geographische Lage der <i>Pinus radiata</i> -Anbauten in Chile (nach SCHMALTZ, 1976)	19
3	Relative Häufigkeitsverteilung der Stammdurchmesser (Zopf, Mitte und Fuß) ohne Rinde für das untersuchte Rundholzkollektiv (n = 26 Bäume)	22
4	Relative Häufigkeitsverteilung der Astdurchmesser (Ast-Ø - Stärkenklassen in mm)	34
5	Relative Häufigkeitsverteilung der astfreien Stammlängen	37
6	Einteilung des Rundholzes	41
7	Einschnittprogramm	43
8	Häufigkeitsverteilung der Rohdichte (12 %) von <i>Pinus radiata</i>	53
9	Häufigkeitsverteilung der Jahrringbreiten von <i>Pinus radiata</i> (26 Bäume, Baumalter 25 Jahre)	58
10	Veränderung der Jahrringbreite in Abhängigkeit vom Baumalter (gemessen in 4 m Höhe) <i>Pinus radiata</i> (n = 26 Bäume)	59
11	Zusammenhänge zwischen der Rohdichte (r_{12}) und der Jahrringbreite (mm) für <i>Pinus radiata</i> (Probenahme in 4 m Höhe, n = 26 Bäume)	61
12	Zusammenhänge zwischen der Rohdichte (12 %) und Biegefestigkeit für <i>Pinus radiata</i> aus Chile	70
13	Zusammenhänge zwischen der Rohdichte (12 %) und dem Biege-Elastizitätsmodul für <i>Pinus radiata</i> aus Chile	72
14	Zusammenhänge zwischen Rohdichte (12 %) und Druckfestigkeit für <i>Pinus radiata</i> aus Chile	73

Figur	Bezeichnung	Seite
15	Relative Häufigkeitsverteilung der Biegefestigkeit von Proben aus dem inneren (r 25 cm) und äußerem Bereich der Stammscheibe (<i>Pinus radiata</i>)	75
16	Häufigkeitsverteilung der Biege-Elastizitätsmodule von Holz aus innerem und äußerem Bereich (oben: innerer Bereich; unten: äußerer Bereich)	77
17	Häufigkeitsverteilung der Druckfestigkeit von Holz aus innerem und äußerem Bereich (oben: innerer Bereich; unten: äußerer Bereich)	80
17a	Zusammenhänge zwischen Biege-Elastizitätsmodul und Biegefestigkeit für <i>Pinus radiata</i> aus Chile	82
18	Zweilastanordnung für die Balkenprüfung mit Moment- und Querkraftverteilung längs des Balkens	97
19	Prozentualer Anteil der Güteklasse des Schnittholzes von <i>Pinus radiata</i> nach unterschiedlicher Schnittholzsortierung (R = Mindestanforderung nicht erreicht)	100

8. TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle	Bezeichnung	Seite
1	Umfang der wichtigsten Anbauten von Pinus radiata außerhalb des natürlichen Wuchsgebietes (SCHLATTER, 1974)	18
2	Mittelwerte (x), Standardabweichungen (sx) und Variationskoeffizient (CV) der Stammdurchmesser am Fuß, Mitte und Zopf, in "cm", ohne Rinde für das untersuchte Rundholzkollektiv von Pinus radiata (n = 26)	23
3	Abholzigkeit pro laufendem Meter in cm für Probestämme Pinus radiata (n = 26) (Mittelwerte, Standardabweichung, Variationskoeffizient (%), größter und kleinster Wert)	31
4	Astdurchmesser in mm - Mittelwerte, Standardabweichung, Variationskoeffizient, Rundholz-Ver-suchskollektiv von Pinus radiata (n = 26 Stämme)	33
5	Durchschnittliche Anzahl der Äste pro Stamm (12 m Länge) und pro Abschnitt (4 m Länge) - Mittelwert, Standardabweichung, Variations-koeffizient - Rundholz-Kollektiv Pinus radiata (n = 26 Stämme)	36
6	Holzphysikalische Eigenschaften von Pinus radiata (Rohdichte 12 %) für die gesamten Querschnitte sowie für Holz aus dem inneren und äußeren Be-reich einer Stammscheibe - Mittelwerte, Standard-abweichung und Variationskoeffizient - Rohdichte g/cm ³	50
7	Rohdichte und Holzfeuchtigkeit für Pinus radiata aus Chile, nach verschiedenen Quellen	51
8	Varianzanalyse der Rohdichte (12 %) des inneren und äußeren Bereichs	52
9	Longitudinale, tangentielle und radiale Schwind-maße - Mittelwerte, Standardabweichung und Variationskoeffizient von innerem und äußerem Bereich, Schwindmaß in % - (Pinus radiata)	54

Tabelle	Bezeichnung	Seite
10	Varianzanalyse für das tangentielle Schwindmaß für den inneren und äußeren Bereich von Stammscheiben von <i>Pinus radiata</i>	55
11	Varianzanalyse für das radiale Schwindmaß für den inneren und äußeren Bereich von Stammscheiben von <i>Pinus radiata</i>	56
12	Mechanische Holzeigenschaften von <i>Pinus radiata</i> für Holz aus innerem und äußerem Stammbereich und für den gesamten Stammquerschnitt ($\bar{cx}$ = Mittelwert; $S\bar{x}$ = Standardabweichung; CV = Variationskoeffizient)	66
13	Physikalische und mechanische Holzeigenschaften (Mittelwerte) von <i>Pinus radiata</i> aus verschiedenen Herkunftten und Untersuchungen im Vergleich	67
14	Varianzanalyse für die Biegefestigkeit von Holzproben von <i>Pinus radiata</i> - Vergleich von innerem ($r = 25$ cm) und äußerem Bereich der Stammscheiben	74
15	Varianzanalyse für Biege-Elastizitätsmodul von innerem und äußerem Bereich	78
16	Varianzanalyse für die Druckfestigkeit des inneren und äußeren Bereichs der Stammscheiben von <i>Pinus radiata</i>	79
16a	Holzeigenschaften von <i>Pinus radiata</i> aus Chile im Vergleich zu mitteleuropäischen Nadelholzarten	83
17	Ergebnisse der visuellen Schnittholzsortierung nach den verschiedenen Sortier-Normen im Vergleich	101
18	Biegefestigkeit, Biege-Elastizitätsmodul und Korrelationskoeffizient für die nach DIN 4074 sortierten Balken	106
19	DIN 4074 - Varianzanalyse für Biege-Elastizitätsmodul von Güteklasse "2" und "3"	108
20	DIN 4074 - Varianzanalyse für für Biegefestigkeit von Güteklasse "2" und "3"	108

Tabelle	Bezeichnung	Seite
21	Biegefestigkeit, Biege-Elastizitätsmodul und Korrelationskoeffizient für die nach australischer RPAA-Norm sortierten Balken	109
22	Australische RPAA-Norm - Varianzanalyse für Biege-Elastizitätsmodul von Güteklasse "F5", "F7", "F8" und DUNCAN-Test	111
23	Australische RPAA-Norm - Varianzanalyse für Biegefestigkeit von Güteklasse "F5", "F6", "F8", und DUNCAN-Test	112
24	Biegefestigkeit, Biege-Elastizitätsmodul und Korrelationskoeffizient für die nach südafrikanischer SABS-Norm sortierten Balken	114
25	Südafrikanische SABS-Norm - Varianzanalyse für Biege-Elastizitätsmodul von Güteklasse "V6" und "V8"	115
26	Südafrikanische SABS-Norm - Varianzanalyse für Biegefestigkeit von Güteklasse "V6" und "V8"	115
27	Biegefestigkeit, Biege-Elastizitätsmodul und Korrelationskoeffizient für die nach chilenischer NCH-Norm sortierten Balken	116
28	Varianzanalyse für Biege-Elastizitätsmodul von Güteklasse nach RPAA "F5", "F7", "F8" nach DIN "2", "3" nach SABS "V6", "V8" und NCH "A", und DUNCAN-Test	118
29	Varianzanalyse für Biegefestigkeit von Güteklasse von RPAA "F5", "F7", "F8"; DIN "2", "3"; SABS "V6", "V8" und NCH "A", und DUNCAN-Test	120
30	Zulässige Biegespannung aus fehlerfreien Holzproben und aus Gebrauchsprüfung bei verschiedenen Schnittholzsortierungen (Angaben in N/mm ²)	122

ANHANG : Formular

PLASTIZITÄTS- u. BIEGEVERSUCHE

Prüfkörper Nr.: _____ Visuelle Schnittholzsortierung: _____ / _____ / _____ * Bruchlast: _____ kN

[illegible]

Feuchtigkeitshalt:

1. elektrische Messung: a. _____ %
b. _____ %
c. _____ %

2. Darrgewicht: g

Abmessung:

1. Probendicke a. _____ mm
b. _____ mm
c. _____ mm

2. Probenbreite a. _____ mm
b. _____ mm
c. _____ mm

Art des Buches:

1. Ausgehen von _____

2. Skizzen

100 cm

320 cm

10 cm

* **Anordnung:** chilenische / australienische / deutsche DIN 4074 / südafrikanische Schnittholzsortierung.

LEBENS LAUF

Am 22.07.47 wurde ich, Amauri Simioni, verheiratet, als Sohn des Joao Simioni und seiner Ehefrau Regina B. Simioni in Curitiba, Paraná, Brasilien, geboren.

Nach dem Besuch der Volksschule von 1956 bis 1959, besuchte ich das Gymnasium, wo ich 1966 die Reifeprüfung ablegte. Danach studierte ich an der Forstlichen Fakultät in Curitiba von 1970 bis 1973, wo ich mein Studium als Forstingenieur abschloß.

Ab 1974 besuchte ich den Postgraduierntenkurs an der "Universidade Federal do Paraná". Das Thema meiner Arbeit stammte aus dem Gebiet der Holztechnologie und lautete: "Erzeugung und Prüfung von Leimbinder mit Holz von Pinus elliottii aus der Durchforstung". Im März 1978 beendete ich das Magisterstudium mit dem höchsten Grad "Aprovacao com Distincao".

1975 erhielt ich in der "Universidade Federal do Paraná" die Stelle als "Professor Auxiliar de Ensino" und ab 1980 als "Professor Assistente", auf dem Gebiet der Holztechnologie. Von 1977 bis 1979 bin ich als "Vice-Coordenador" des Universitätspartnerschaftsprojektes Freiburg/Curitiba tätig gewesen.

Von April bis September 1978 besuchte ich einen Sprachkurs am Goethe-Institut in Freiburg/Br. und begann meine Promotion an der Albert-Ludwigs-Universität bei Herrn Prof. Dr. Grammel am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft. Meine Promotion wird durch ein Stipendium des Deutschen Akademischen Austauschdienstes (D.A.A.D.) gefördert.

Freiburg, den 09.10.1981

